معهد الإنماء العربي

الطاقة النووية
والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

د. كمال عفت



الطاقة النووية

والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

الطاقة النووية
والمفاعلات النووية لتوليد الطاقة

تأليف د. كمال عفت
ترجمة د. كمال عفت
و د. إبراهيم فتحي حمودة
المراجعة العلمية : د. محمد محمد صقر

الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية
طرابلس ـ ١٩٨٠ ·

سلسلة كتب «التكنولوجيا النووية في البلدان النامية»

تصدر عن:

معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا
بيروت ـ لبنان

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

قائمة المحتويات

أولاً ـ النظم كاملة الصلاحية:

ثانياً ـ نظم ثبتت صلاحيتها جزئياً:

ثالثاً ـ نظم المفاعلات النووية المتقدمة:

أولاً ـ الطرف الأمامي لدورة الوقود

ثانياً ـ الطرف الخلفي لدورة الوقود

تقديم

أعد هذا التقرير استجابة لدعوة وجهت الى المؤلف منذ حوالي عام مضى من معهد الانماء العربي ، للمشاركة في مشروع دراسة تشمل الجوانب المختلفة للتكنولوجيا النووية ، وحدد المعهد ست مجالات رئيسية في نطاق هذه الدراسة مكونة من اعضاء منتقين يعالج كل منهم واحداً من تلك المجالات المحددة . وكانت مهمة المؤلف هي مجال الطاقة النووية والمفاعلات لتوليد الطاقة وهو ما يتناوله هذا التقرير .

وبالنظر الى المجال الواسع وتنوع الموضوعات التي يغطيها هذا الموضوع الهام والذي يتسم بالتعارض والتعقيد ، كما انه ينطوي على جوانب فنية واقتصادية بالاضافة الى نواحي سياسية ودولية فقد تطلبت الدراسة واعداد التقرير قدراً كبيراً من الجهد والوقت للحفاظ على توازن مناسب بين المدى الذي تذهب اليه تغطية مختلف الموضوعات ، ودرجة العمق والتفصيل التي يعالج بها كل موضوع .

وبالاضافة الى ذلك فان مثل هذا الاستعراض العريض والواسع وهذا التحليل العلمي ، يتطلبان الارتكاز على عدد كبير ومتفرق من التقارير والاوراق العلمية والدراسات المنشورة والمتاحة في عدد كبير جداً من المجلات العلمية والمؤتمرات وفي مختلف التقارير والوثائق والمطبوعات للوكالة الدولية

للطاقة الذرية. ومن أجل هذا ونظراً للقيود المفروضة بالنسبة للوقت المحدود وحجم التقرير لم يكن في الامكان تجميع وتضمين قائمة شاملة للعدد الكبير من المراجع المستخدمة خلال الدراسات التي اجريت وخلال اعداد هذا التقرير.

وعلى أية حال فقد تم تضمين قائمة منتقاة من المراجع الرئيسية المتصلة بالموضوعات الواردة بكل من الفصول الخمسة وفي الملاحق الثلاثة للتقرير.

وحيث ان هذه الدراسة والتقرير قد تم انجازها بواسطة المؤلف بصفته الشخصية فان البيانات والمعلومات ووجهات النظر الموضحة او البيانات الواردة بالتقرير لا تعتبر بأية حال انها تمثل التزاماً أو سياسة لأي سلطة أو هيئة حكومية.

وقد دار خلال السنوات القليلة الماضية جدل واسع ومكثف حول الطاقة النووية كما تنوعت وجهات النظر بين المؤيدين والمعارضين لاستخدام التكنولوجيا النووية، وبسبب هذا الجدل والتعارض انبثق عدد من القضايا والمشاكل الكبرى التي أثارت قلقاً وأقامت صعوبات في كثير من البلاد النامية بالنسبة لوضع خطتها المستقبلية لتطوير التكنولوجيا النووية. وقد جاءت المبادرة بهذه الدراسة من جانب معهد الانماء العربي في وقتها المناسب، وذلك للتعرف على القضايا والمشاكل الرئيسية وتوضيحها، وتوفير قاعدة من البيانات العلمية والتحليل العلمي يمكن أن ترتكز عليها الخطط والقرارات والاختيارات التي تتخذها البلاد النامية عامة والعالم العربي خاصة.

وقد كتب هذا التقرير بأمل أن يكون فيه بعض العون للوفاء بتلك الأهداف.

المؤلف

الباب الأول

الطاقة النووية ، تطورها ووضعها الراهن

١ ـ ١ مقدمة:

من المتوقع ان يتزايد الطلب على الطاقة الكهربائية في كل من الدول الصناعية المتقدمة والدول النامية لتغطية احتياجات التنمية الاقتصادية والصناعية من أجل الحفاظ على الحضارة الحديثة. وقد زاد استهلاك العالم للطاقة من مقدار يعادل ٣٣٠٠ مليون طن من الفحم في عام ١٩٥٥ الى ٥٣٠٠ مليون طن في عام ١٩٦٥ بمعدل زيادة بلغ في المتوسط ٥٪ سنوياً وتشير التقديرات الى أنه سوف يصل الى ما يعادل ١٠٠٠٠ مليون طن من الفحم في عام ١٩٨٠ وانه سوف يتضاعف تقريباً بحلول سنة ٢٠٠٠. وتقدر نسبة الطاقة الكهربائية الى اجمالي استهلاك الطاقة حوالي ٣٠ الى ٣٥٪ كما انها كانت تتزايد أيضاً بمعدل سنوي بلغ في المتوسط من ٦ الى ٧٪. ولا شك أن معدل زيادة الطلب على الطاقة الكهربائية في الدول النامية سوف يكون أعلى نظراً لاتساع الفجوة بين معدل استهلاك الفرد للطاقة في الدول النامية ومعدله في الدول المتقدمة.

ففي معظم الدول النامية يتراوح متوسط معدل استهلاك الفرد من ١٠٠ الى ١٠٠٠ كيلووات ساعة في السنة بينما يبلغ في الولايات المتحدة ٨٠٠٠ كيلووات ساعة في السنة، ويصل في النرويج الى ١٤٥٠٠. كما أن المتوسط

بالنسبة لغرب أوروبا يبلغ ٢٥٠٠ كيلووات ساعة في السنة. وربما كانت الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية هي العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها، فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للانتاج ولزيادة كفاءة انتاج الطعام والتنمية الصناعية ورفع المعيشة الاجتماعي في تلك الدول، الذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة وراء المستويات في الدول الصناعية المتقدمة. ومن المعروف أن أحد الأهداف الرئيسية في وضع خطط التنمية الاقتصادية والصناعية والزراعية في أية دولة، سواء كانت متقدمة أو نامية، هو توفير امدادات كافية واقتصادية من الطاقة الكهربائية. ويتطلب تحقيق ذلك القيام باستغلال جميع موارد الطاقة المتاحة، من الماء والفحم والبترول والغاز واليورانيوم، وذلك الى جانب استغلال المصادر الأخرى للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة المد والريح وطاقة الحرارة الأرضية والمخلفات البيولوجية على أوسع نطاق ممكن. وخلال السنوات العديدة الماضية احتلت الطاقة النووية مكاناً بارزاً بين موارد الطاقة الأخرى، كما أن الزيادة الحادة في الأسعار العالمية للبترول، والتي بلغت أربعة أضعاف في نهاية عام ١٩٧٣، وما ترتب عليها من نتائج بالنسبة لزيادة تكلفة انتاج الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية، قد جذبت الاهتمام الى مشروعات الطاقة النووية في كثير من الدول بوصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة.

وبالرغم من اقرار الجدوى الاقتصادية للمحطات النووية فقد ظل الجدل حول مستقبل الطاقة النووية مستمراً، كما ان الحاجة الى استخدام الطاقة النووية ظلت موضع تساؤل على أساس اعتبارات أخرى غير اقتصادية وألقيت الظلال على التوقعات الواضحة والباهرة للطاقة النووية، من الهجمات التي توجهها جماعات معارضة يطلق عليها «المجموعات المناوئة للطاقة النووية»، انهم يهاجمون الطاقة النووية بوصفها مصدراً خطيراً وغير مقبول للطاقة يقترن بها أضرار صحية وأخطار التخلص من النفايات المشعة بالاضافة الى مخاطر

بالنسبة لغرب أوروبا يبلغ ٢٥٠٠ كيلووات ساعة في السنة . وربما كانت الحاجة الملحة للطاقة الكهربائية في الدول النامية هي العنصر الرئيسي الذي يعتمد عليه احراز تقدمها ، فالطاقة الكهربائية مطلوبة كأداة للانتاج ولزيادة كفاءة انتاج الطعام والتنمية الصناعية ورفع المعيشة الاجتماعي في تلك الدول ، الذي ما زال متخلفاً بدرجة كبيرة وراء المستويات في الدول الصناعية المتقدمة . ومن المعروف أن أحد الأهداف الرئيسية في وضع خطط التنمية الاقتصادية والصناعية والزراعية في أية دولة . سواء كانت متقدمة أو نامية ، هو توفير امدادات كافية واقتصادية من الطاقة الكهربائية . ويتطلب تحقيق ذلك القيام باستغلال جميع موارد الطاقة المتاحة ، من الماء والفحم والبترول والغاز واليورانيوم ، وذلك الى جانب استغلال المصادر الأخرى للطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة المد والريح وطاقة الحرارة الأرضية والمخلفات البيولوجية على أوسع نطاق ممكن . وخلال السنوات العديدة ، الماضية احتلت الطاقة النووية مكاناً بارزاً بين موارد الطاقة الأخرى . كما أن الزيادة الحادة في الأسعار العالمية للبترول ، والتي بلغت أربعة أضعاف في نهاية عام ١٩٧٣ ، وما ترتب عليها من نتائج بالنسبة لزيادة تكلفة انتاج الطاقة من المحطات الحرارية التقليدية ، قد جذبت الاهتمام الى مشروعات الطاقة النووية في كثير من الدول بوصفها مصدراً منافساً وحيوياً لانتاج الطاقة .

وبالرغم من اقرار الجدوى الاقتصادية للمحطات النووية فقد ظل الجدل حول مستقبل الطاقة النووية مستمراً ، كما ان الحاجة الى استخدام الطاقة النووية ظلت موضع تساؤل على أساس اعتبارات أخرى غير اقتصادية وألقيت الظلال على التوقعات الواضحة والباهرة للطاقة النووية ، من الهجمات التي توجهها جماعات معارضة يطلق عليها « المجموعات المناوئة للطاقة النووية » ، انهم يهاجمون الطاقة النووية بوصفها مصدراً خطيراً وغير مقبول للطاقة يقترن بها أضرار صحية وأخطار التخلص من النفايات المشعة بالاضافة الى مخاطر

الكهربائية المركبة للمحطات النووية من خمسة ميجاوات في عام ١٩٥٥ الى ٣٤٠ ميجاوات في عام ١٩٥٨ والى ٣٣٠٠ ميجاوات في عام ١٩٦٤ بينما لم تنشأ في الدول النامية حتى عام ١٩٧١ سوى محطة نووية واحدة أنشئت في احدى هذه الدول وهي الهند بقدرة كهربائية قدرها ٣٩٦ ميجاوات ، وذلك من اجمالي القدرة الكهربائية المركبة في عام ١٩٧١ والتي بلغت حوالي ٣٢٠٠٠ ميجاوات . باستثناءات قليلة فان معظم المحطات الشغالة حتى عام ١٩٧١ كانت بأحجام تقل عن ٣٠٠ ميجاوات . وقد أدت التطورات المتتالية للمحطات النووية وكذلك للأنواع المختلفة ومفاعلات القوى الى ترسيخ التكنولوجيا لعدد من هذه الأنواع حتى بلغت حد المستويات التقليدية الكاملة الصلاحية ، كما انها أدت الى تصعيد أحجام المحطات الى مستوى ١٠٠٠ ميجاوات كهربائي أو أكثر ، وزاد عدد المفاعلات التي تم تشغيلها حتى عام ١٩٧٨ الى ٢١٥ مفاعلا بلغ خرجها الكهربائي الاجمالي حوالي ١٠٠٠٠٠ ميجاوات في ٢١ دولة من بينها خمس دول نامية .

١ ـ ٣ الحاجة الى الطاقة النووية :

بالرغم من الانجازات الكبيرة السابق ذكرها خلال المراحل المبكرة للتطور فان الحاجة الى الطاقة النووية لم تكن قد بلغت مرحلة من الاستقرار الواضح ؛ كما ان ادخال الطاقة النووية في كثير من الدول لم يمكن تبْريره بالكامل . ويعزى هذا الى العديد من الأسباب التي تأتي في مقدمتها تكاليف الانشاء للمحطات النووية التي كانت تتسم بالارتفاع لاسيما لمدى الأحجام التي كانت متاحة على المستوى التجاري ؛ وكانت الأسعار العالمية للبترول قبل ١٩٧٣ منخفضة نسبياً ، كما ان تكاليف الانشاء المنخفضة للمحطات التقليدية التي تستخدم البترول جعلت من الصعب على المحطات النووية منافستها . ووجد أن نقطة التعادل الاقتصادي للمحطات النووية هي عند الأحجام التي تزيد قدرتها على ٥٠٠ ميجاوات كهربائي ؛ وبالاضافة الى ذلك فان أحجام مجموعات الشبكات الكهربائية في غالبية الدول النامية في ذلك الوقت كانت لا يمكنها

أن تتقبل مثل هذه المحطات ذات الأحجام الكبيرة. ونظراً لهذه الاعتبارات وكذلك بسبب الاتجاه في الدول الصناعية المتقدمة الى انتاج أحجام أكبر في نطاق يتراوح بين ٥٠٠ الى ١٠٠٠ ميجاوات فان اقامة وتطوير المحطات النووية لتوليد الكهرباء ظل مقصوراً على الدول المتقدمة صناعياً التي تقوم بتصنيع هذه المحطات ، مع بقاء سوق التصدير الى البلاد النامية في نطاق صغير جداً .

وقد تغير الموقف بصورة جذرية منذ ١٩٧٣ وذلك بعد الزيادة الحادة في أسعار البترول من ٣ دولار للبرميل الى حوالي ١٢ دولار للبرميل. وقد أصبحت حينئذ محطات الطاقة النووية تتنافس بصورة كاملة مع مصادر الطاقة التقليدية لانتاج الكهرباء وذلك بأحجام صغيرة للوحدات تصل قدراتها الى حوالي ١٥٠ ميجاوات. واصبحت الحاجة الى ادخال محطات للقوى النووية بعد ذلك لها ما يبررها بالكامل؛ وصارت أحد المصادر الرئيسية البديلة للوفاء بحاجات الطاقة في كثير من الدول.

وبالاضافة الى الاعتبارات السابقة فقد ازدادت حدة الحاجة الى الطاقة النووية بسبب أزمة الطاقة العالمية المعروفة في عام ١٩٧٣ ، والضرورة الى توفير الموارد المحدودة من الوقود التقليدي (خاصة البترول) واحلال موارد بديلة محلها. فمن المعروف أن الاحتياطيات من الوقود التقليدي وهي البترول والفحم والغاز محدودة. وان تقديرات الموارد المتاحة فيها كانت سبباً يدعو الى الاهتمام والقلق المتزايد من حيث كفايتها في الوفاء بالمتطلبات المتزايدة للطاقة في المستقبل. وأكثر من ذلك فان هذه الأنواع من الوقود التقليدي مطلوبة في شكل مواد خام لانتاج كثير من المنتجات الصناعية مثل صناعة البتروكيماويات ، كما انه يمكن استغلالها بدرجة أكثر كفاءة وبطريقة اقتصادية في مثل تلك الاستخدامات بدلا من حرقها كوقود لانتاج الطاقة. وهناك بعض الدول المنتجة للبترول مثل ايران على سبيل المثال رغم مواردها البترولية

الضخمة قد قررت القيام بتنفيذ برنامج كبير لانشاء محطات للطاقة النووية وذلك لتوفير الموارد غير المتجددة من احتياطيات البترول والغاز الطبيعي؛ حتى يمكن استغلالها بطريقة أفضل في التنمية الصناعية واستخدام حصيلة تصديرها في استيراد التكنولوجيا والمعدات اللازمة للطاقة النووية ومشروعات التنمية الأخرى. وان المصادر المتجددة للطاقة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والمد والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة المنتجة من المخلفات البيولوجية لا تكفي جميعها لتغطية أكثر من نسبة صغيرة من الكميات الهائلة من المتطلبات العالمية للطاقة. كما انه لم يتم للآن تطوير التكنولوجيا لهذه المصادر من أجل استغلالها بكفاءة على المستوى التجاري لانتاج الطاقة؛ وليس من المرجح أن يكون اسهامها في توفير متطلبات الطاقة العالمية بحلول نهاية هذا القرن ذا أهمية ملموسة لا سيما في توليد الكهرباء.

١ ـ ٤ الوضع الراهن للطاقة النووية:

ان تكنولوجيا الطاقة النووية قد تطورت خلال الخمس والعشرين سنة الماضية الى الحد الذي يمكن من قبولها كمصدر بديل ومنافس كامل لانتاج الطاقة الكهربائية. وان عدة نظم لمفاعلات القوى النووية، قد بلغت مرحلة متقدمة من التطور التكنولوجي والنضوج بحيث أصبحت مصدراً للطاقة يتوفر فيه الأمان والكفاءة ويمكن الاعتماد عليه وتدعمه خلفية واسعة من الخبرة في التشغيل. وكما سبق ذكره؛ فانه يوجد ٢١٥ مفاعلاً نووياً تعمل في محطات نووية في ٢١ دولة وتقوم بتوفير انتاج كهربائي بقدرة اجمالية بلغت ١٠٢٥٥٥ ميجاوات كهربائي. ويبين الجدول رقم (١) الدول الواحد والعشرين التي تم فيها اقامة وتشغيل هذه المحطات وعدد المفاعلات وصافي الخرج الكهربائي وأنواع نظم المفاعلات المختلفة المستخدمة في تشغيل المحطات النووية. يوجد أربعة أنواع فقط تعتبر في الوقت الحاضر كاملة الصلاحية للتشغيل على المستوى التجاري هي مفاعلات الماء الخفيف المضغوط أو المغلي، ومفاعلات

الماء الثقيل المضغوط ومفاعلات الجرافيت المبردة غازياً ، ويتضح من الجدول رقم (٢) ، الـذي يتضمن تقسيماً لـلاعـداد والخرج الكهربـائي لمختلـف نظم المفاعلات . ان نظم المفاعلات الأربع المذكورة تعطي حوالي ٩٤٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل حوالي ٩٢٪ من صافي الخرج الكهربائي الاجمالي لجميع المحطات النووية التي تم تشغيلها ، بينما تغطي نسبة الـ ٨٠٪ الباقية جميع الأنواع الأخرى للمفاعـلات التي لم تكتمـل صلاحيتها بعد وكـذلك نظم المفاعلات المتقدمة . ويجدر بنا الاشارة هنا الى انه من بين النظم الأربعة التي ثبتت صلاحيتها كاملة يوجد ثلاثة منها فقط متوفرة على المستوى التجاري وهي : مفـاعلات المـاء المضغوط ، ومفـاعـلات الماء المغلي ، ومفـاعـلات المـاء الثقيـل المضغوط ، أما مفاعلات الجرافيت المبردة غازياً فلم تصنع للآن وغير متوفرة تجارياً منذ عدة سنوات .

تتضمن المحطات النووية التي تم تشغيلها الى الآن عدة محطات تتراوح أحجام وحداتها بين ١٥٠ و٣٠٠ ميجاوات كهربائي أقيمت في المراحل المبكرة لانشاء وتطوير المحطات النووية ويبلغ الحد الأدنى لأحجام المحطات المتاحة عـلى المستوى التجـاري من الشركـات الصنـاعيـة في الوقـت الحـاضر ٦٠٠ ميجاوات كهربائي ، ويقدم الاتحاد السوفييتي مفاعلات من نوع الماء العادي المضغوط بأحجام ٤٤٠ ميجاوات كهربائي ، الا أن معظم المحطات التي أنشئت منها تتكون من وحدتين توأم مجموع قدرتها الكهربائية ٨٨٠ ميجاوات . وبينما يعطي التحسن في الاقتصاديات مع زيادة الحجم ، مزايا اقتصادية أكبر باستخدام وحدات حجم كبير فان كثيراً من الدول النامية ما زالت غير قادرة على استخدام مثل هذه الوحدات بسبب القيود التي تفرضها نظم الشبكات الكهربـائيـة الأصغر حجماً والـتي لا تستطيـع أن تستوعـب هـذه الوحـدات الكبيرة .

وبالطبع فان المستوى الحالي لأسعار البترول والزيادة المتوقعة فيها مستقبلا

جدول (١)

محطات القوى النووية الشغالة حتى أول مايو ١٩٧٨

الدولة	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية للمحطات الشغالة ميجاوات كهربائي	أنواع المفاعلات
الأرجنتين	١	٣٤٥	1 PHWR
بلجيكا	٤	١٦٧٦	4 PWR
بلغاريا	٢	٨٣٧	2 PWR
كندا	٩	٤٥٠٥	9 PHWR
سويسرا	٣	١٠٠٦	2 PWR, 1BWR
تشيكوسلوفاكيا	١	١١٠	1 HWGCR
المانيا الشرقية	٤	١٢٨٧	4 PWR
المانيا الغربية	١٤	٦٩٤٤	5PWR, 6BWR, 1PHWR, 1HTGR, 1FBR
اسبانيا	٣	١٠٧٣	1 PWR, 1 BWR, 1 GCR
فنلندا	١	٤٢٠	1 PWR
فرنسا	١٢	٤٥٠٣	3 PWR, 7 GCR, 1 HWGCR, 1 FBR
المملكة المتحدة	٣٢	٦٨٩٠	26 GCR, 5 AGR, 1 FBR
الهند	٣	٦٠٢	2 BWR, 1 PHWR
ايطاليا	٤	١٣٨٢	1 PWR, 2 BWR, 1 GCR
اليابان	٢٠	١٢١٢٩	8 PWR, 11 BWR, 1 GCR
كوريا	١	٥٦٤	1
هولندا	٢	٤٩٩	1 PWR, 1 BWR

تابع الجدول رقم (١)

الدولة	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية للمحطات الشغالة ميجاوات كهربائي	أنواع المفاعلات
باكستان	١	١٢٦	1 PHWR
السويد	٦	٣٧٠٠	1 PWR, 5 BWR
الاتحاد السوفييتي	٢٧	٧٦١٦	7 PWR, 5 BWR, 13 LWGR, 2 FBR
الولايات المتحدة	٦٥	٤٦٣٤١	39 PWR, 25 BWR, 1 HTGR
المجموع	٢١٥	١٠٢٥٥٥	

الجدول رقم (٢) القدرة الكهربائية، وعدد الأنواع المختلفة للمفاعلات النووية الشغالة.

أنواع المفاعل	الرمز	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية/ ميجاوات كهربائي	النسبة المئوية للقدرة الكهربائية من الاجمالي
مفاعل الماء العادي المضغوط	PWR	٨٠	٥٠٠٨٦	٤٨ر٩
مفاعل الماء العادي المغلي	BWR	٥٩	٣١٦٠٣	٣٠ر٨
مفاعل الماء الثقيل المضغوط	PHWR	١٣	٥٢٣٤	٥ر١
المفاعل المهدأ بالجرافيت والمبرد غازياً	GCR	٣٦	٧٠٨٦	٦ر٩
المجموع للأنواع المثبتة الصلاحية		١٨٨	٩٤٠٠٩	٩١ر٧
المفاعل المهدأ بالجرافيت والمبرد بالماء العادي	LWGR	١٣	٤٨٨٢	٤ر٧
مفاعل الماء الثقيل المبرد بالغاز	HWGCR	٢	١٨٠	٠ر٢
المفاعل المتقدم المبرد بالغاز	AGR	٥	٢٤٩٦	٢ر٤
المفاعل ذو الحرارة العالية والمبرد غازياً	HTGR	٣	٣٤٤	٠ر٣٥
المفاعل السريع المتوالد	FBR	٥	٦٤٤	٠ر٦٥
المجموع للأنواع المثبتة الصلاحية جزئياً والمتقدمة		٢٧	٨٥٤٦	٨ر٣
المجموع الكلي		٢١٥	١٠٢٥٥٥	١٠٠ر٠

تجعل المنافسة الاقتصادية للمحطات النووية تتحقق عند وحدات أصغر حجماً مما كان الأمر عليه من قبل ويمكن أن تصل الى ١٥٠ ميجاوات كهربائي أو أقل من ذلك الا أن مثل هذه الوحدات ذات الأحجام الصغيرة أو المتوسطة ليست متوفرة تجارياً في الوقت الحاضر، بالاضافة الى عدد المحطات النووية التي تم تشغيلها والتي وردت بالجدولين (١)، (٢) يوجد الآن عدد كبير من المحطات في مرحلة الانشاء والتخطيط في عدد كبير من الدول المتقدمة والنامية. وطبقاً للبيانات المتاحة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية يبلغ العدد الاجمالي للمفاعلات النووية التي تحت الانشاء والتخطيط ٣٦٦ مفاعلا تبلغ قدرتها الانتاجية الاجمالية حوالي ٣٤٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي. ومن المتوقع أن الغالبية العظمى من هذه المحطات سيتم تشغيلها في السنوات الأولى من الثانينات وبذلك سوف يصبح اجمالي القدرة الكهربائية المنتجة نووياً حوالي ٤٥٠٠٠٠ ميجاوات. ويبين الجدول رقم (٣) عدد المفاعلات النووية وصافي القدرة الكهربائية المنتجة لكل من مختلف أنواع نظم المفاعلات. ويلاحظ أن هناك نظامين من تلك النظم قد أوقف بناؤهما وهما مفاعلات الجرافيت المبردة غازياً ومفاعلات الماء الثقيل المبردة غازياً ويمكن أيضاً ملاحظة أنه من اجمالي طاقة المحطات الجاري انشاؤها والمخطط لها يوجد حوالي ٣٠٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل حوالي ٨٦٪ من مجموع القدرة الكهربائية، مصدرها مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة كما توضح أيضاً أن مجموع القدرة الكهربائية من نظم المفاعلات الخمس الأخرى في مجموعة المفاعلات المتقدمة أو التي ثبتت صلاحيتهاجزئياً تبلغ حوالي ٣٣٠٠٠ ميجاوات كهربائي تمثل حوالي ١٠٪ فقط من اجمالي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية التي في مرحلة الانشاء والمخطط لها. ويعرض الجدول رقم (٤) تطور الطاقة النووية خلال الفترة من عام ١٩٥٥ حتى عام ١٩٩٥. ويبين عدد المفاعلات وصافي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية في الدول

جدول (٣) القدرة الكهربائية وعدد المفاعلات النووية من الأنواع المختلفة التي يجري انشاؤها والمخطط لها

أنواع المفاعلات	الرمز	عدد المفاعلات التي يجري انشاؤها والمخطط لها	القدرة الكهربائية الصافية/ميجاوات كهربائي	النسبة المئوية للقدرة الكهربائية الصافية من الاجمالي٪
مفاعل الماء المضغوط	PWR	٢٣٨	٢٢٦٠٤٤	١ر٦٦
مفاعل الماء المغلي	BWR	٦٧	٦٩٢٦٩	٢ر٢٠
مفاعل الماء الثقيل المضغوط	PHWR	٢٣	١٣٣٦٠	٣ر٩
المفاعل المهدأ بالجرافيت والمبرد غازياً	GCR	—	—	—
مجموع (الأنواع المثبتة الصلاحية)		٢٣٨	٣٠٨٦٧٣	٢ر٩٠
المفاعل المهدأ بالجرافيت المبرد بالماء العادي	LWGR	١٨	١٩٠٠٠	٥ر٦
مفاعل الماء الثقيل المبرد غازياً	HWGCR	-	-	-
مفاعل متقدم مبرد بالغاز	AGR	١٠	٦١٧٨	١ر٨
مفاعل مرتفع الحرارة مبرد بالغاز	ATGR	٢	١٤٥٠	٠ر٤
مفاعل سريع متوالد	FBR	٨	٦٨٤٢	٢ر٠
مجموع (المثبت الصلاحية جزئيا للأنواع المتقدمة)		٣٨	٣٣٤٧٠	٩ر٨
المجموع الكلي		٣٦٦	٣٤٢١٤٣	١٠٠ر٠

جدول (٤) عدد المفاعلات وصافي القدرة الكهربائية في الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية عند نهاية كل سنة

السنة	عدد المفاعلات			القدرة الكهربائية (ميجاوات)			عدد الدول		
	الدول المتقدمة صناعياً			الدول المتقدمة صناعياً			الدول المتقدمة صناعياً		
	المصدرة	المستوردة	الدول النامية	المصدرة	المستوردة	الدول النامية	المصدرة	المستوردة	الدول النامية
١٩٥٥	١	-	-	٥	-	-	١	-	-
١٩٥٨	١٠	-	-	٧٥٥	-	-	٢	-	-
١٩٦٤	٣٣	٤	-	٣٠٥٧	٣٢١	-	٦	٣	-
١٩٧١	٧٦	١٥	٢	١٧٦٤٢	٣٢٢٨	٣٩٦	٦	٧	١
١٩٧٧	١٥٥	٤١	٨	٧٢٤٠٦	١٧٥٢٤	-	٦	١٠	٥
١٩٨٥	٣٣٩	١٢٢	٤٥	٢٥٥٥٢١	٧٨٠٥٠	٢٥٨٨٠	٦	١٢	١٦
١٩٩٠	٣٨٨	١٢٩	٤٩	٣٠٩٧٢٠	٨٤٢٧٠	٢٩٤٤١	٦	١٢	١٧
١٩٩٥	٣٩٥	١٢٩	٤٩	٣١٧٨١٠	٨٤٢٧٠	٢٩٤٤١	٦	١٢	١٧

المتقدمة صناعياً وفي الدول النامية على أساس المجموع في نهاية كل سنة. ويلاحظ أن عدد الدول المتقدمة صناعياً التي أنشئت فيها محطات نووية سيظل من الناحية العملية دون تغيير خلال الفترة من ١٩٧٧ الى ١٩٩٥ بينما سيزداد عدد الدول النامية خلال نفس الفترة من خمس دول الى سبعة عشرة دولة وهو ما يشير الى اتجاه الزيادة بمعدل أسرع للتقدم في البلاد النامية. وخلال نفس الفترة يمكن أن يلاحظ أيضاً بوضوح وجود اتجاه مشابه بالنسبة لمعدل الزيادة في كل من عدد المفاعلات وفي صافي القدرة الكهربائية المنتجة من المحطات النووية في الدول النامية. كما يلاحظ أيضاً أن عدد الدول المتقدمة صناعياً الست التي تصنع وتصدر المحطات النووية ظل ثابتاً على مدى الخمسة عشرة عاما الماضية، ومن المتوقع أن يستمر على هذا الوضع حتى عام ١٩٩٥. ويلخص الجدول رقم (٥) أحدث البيانات المنشورة بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن المحطات النووية التي تم تشغيلها، والمحطات التي في مرحلة الانشاء حالياً في الدول المتقدمة صناعياً سواء المصدرة منها أو المستوردة، وفي الدول النامية وتوضح هذه انبيانات أن المحطات التي تعمل في احدى وعشرين دولة تنتج حوالي ٩٨٪ من صافي القدرة الكهربائية المنتجة في الدول المتقدمة صناعياً.

الا انه مع استكمال وتشغيل جميع المحطات النووية التي هي في مرحلة الانشاء الآن فان صافي القدرة الكهربائية المنتجة في الدول النامية ستزيد نسبتها من ٢ر٤٪ حالياً الى ٦ر٦٪ من اجمالي سعة الطاقة النووية في العالم، كما ان عدد الدول النامية التي انشئت فيها المحطات النووية سيزيد من خمس دول الى سبعة عشر دولة. وبينما تشير هذه الأرقام الى انه قد امكن تحقيق تقدم معقول لتطوير الطاقة النووية في الدول النامية الا انه ما زالت هناك فجوة واسعة بين سعة الطاقة النووية المخطط لها والمشروعات التي تم تنفيذها فعلا وذلك بسبب وجود صعوبات مختلفة وعقبات ستناقش فيما بعد في هذا التقرير.

جدول (٥)

مقارنة القدرات الكهربائية الصافية وعدد المفاعلات
في الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية

أ ـ المفاعلات الشغالة (في ٢١ دولة)

الدول	الدول المتقدمة		الدول النامية عدد (٥)	الاجمالي
	المصدرة عدد (٦)	المستوردة عدد (١٠)		
القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	٧٦٧٩٩	٢٣٢٧٣	٢٤٧٢	١٠٢٥٥٤
النسبة المئوية من الاجمالي	٧٤ر٩	٢٢ر٧	٢ر٤	١٠٠
عدد المفاعلات	١٥٩	٤٨	٨	٢١٥
النسبة المئوية من الاجمالي	٧٤	٢٢ر٣	٣ر٧	١٠٠

ب ـ المفاعلات التي يجري انشاؤها (في ٢٩ دولة)

القدرة الكهربائية (ميجاوات كهربائي)	١٦٢٩٩٧ (٦)	٣٢٥٧٤ (١٢)	١٣٨٧٤ (١١)	٢٠٩٤٤٥
النسبة المئوية من الاجمالي٪	٧٧ر٨	١٥ر٦	٦ر٦	١٠٠
عدد المفاعلات	١٦٥	٤٢	٢٤	٢٣١
النسبة المئوية من الاجمالي	٧١ر٤	١٨ر٢	١٠ر٤	١٠٠

١ ـ ٥ التنبؤات المستقبلية لبرامج الطاقة النووية:

١ ـ ٥ ـ ١ العوامل والظروف التي تؤثر على التنبؤات لنمو الطاقة النووية:

يتأثر نمو الطاقة النووية بظروف مختلفة تتصل بعوامل اقتصادية واجتماعية وسياسية. كما ان موقف الرأي العام نحو الطاقة النووية، وأثر الضغوط السياسية والاقتصادية قد أحدثت أثراً ملموساً على نمو الطاقة النووية في كثير من الدول. ولذلك فان التقديرات والبيانات المنشورة عن تنبؤات مستقبل سعة الطاقة النووية كانت تخضع دائماً للمراجعة المستمرة، على ضوء العوامل السائدة والمرتبطة بتلك التنبؤات وستناقش هنا باختصار العوامل المختلفة التي تؤثر على خطط المدى القصير وكذلك المدى الطويل لبرامج الطاقة النووية وذلك لاظهار مدى امكان الاعتماد على ا لبيانات المنشورة عن التقديرات المستقبلية للطاقة النووية ومدى الحدود المفروضة عليها. وان العوامل التي تؤثر على الخطط القصيرة الأمد مذكورة في أحد البحوث المنشورة للوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم ٤٩٢/٣٦، ضمن وثائق المؤتمر العالمي للقوى النووية ودورة الوقود النووي الذي عقد في مدينة سالزبورج بالنمسا في مايو ١٩٧٧ وتشمل الآتي:

أ ـ الاتجاه نحو المحافظة على الطاقة: ان هذا الاتجاه الذي استمر الى حد ما منذ الحظر على تصدير البترول عام ١٩٧٣ قد أدى الى اتجاه الكثير من الشركات المنتجة للطاقة الى المحافظة على قدر مناسب كاحتياطي كما ان عدداً أقل من تلك الشركات وجد أنه من الضروري اضافة وحدات للاحمال الأساسية، التي تمثل السوق الرئيسية لمحطات الطاقة النووية.

ب ـ الركود الاقتصادي وما أعقبه من تخفيض في الطلب على الطاقة: ان هذا الركود قد خفض بعض الشيء النمو في الصناعة عن طريق عزوفها عن القيام باستثمارات جديدة مما أدى الى ابطاء الزيادة في الطلب على الطاقة.

جـ ـ عدم التأكد مما تقدمه من خدمات دورة الوقود: انه بسبب عدم

التأكد من مجالات تخزين الوقود المستنفذ ، واعادة المعالجة للوقود المحترق ، واعادة استخدام المواد الانشطارية التي يتم فصلها من عملية اعادة المعالجة ، يلزم أن يعطي المشغلون للمفاعلات اهتماماً أكبر بتخزين الوقود المستنفذ وكذلك الحصول على كميات من اليورانيوم أكثر من الكميات المطلوبة في حالة اعادة الاستخدام للمواد الانشطارية المستخلصة من الوقود المستنفذ.

د ـ **عدم التأكد من العمليات التنظيمية**: ان التطور المستمر للمعايير التنظيمية قد كان لها أثر يتسم بعدم الاستقرار على الهيئات المنتجة للطاقة. ونتيجة ذلك هي اطالة الوقت اللازم الذي يسبق تنفيذ القرارات لمشروعات القدرات لتوليد الطاقة النووية.

هـ ـ **تحول الرأي العام لتقبل الطاقة النووية**: ان مختلف قطاعات الرأي العام مستمرة في التساؤل عن ضرورة الحاجة الى الطاقة النووية. وقد تحول الاهتمام مؤخراً من الأسئلة حول الأمان للمفاعلات الى مقدار ما هو متيسر من خدمات دورة الوقود بما في ذلك كميات موارد اليورانيوم وكذلك التخلص من النفايات المشعة.

و ـ **التغييرات في الامدادات من الوقود التقليدي**: ان الأحداث الأخيرة مثل الحظر على تصدير البترول في عام ١٩٧٣ ، واكتشاف مصادر البترول في الاسكا وفي بحر الشمال كان لها آثار متفاوتة وغير متوقعة على مختلف البرامج القومية لتطور الطاقة النووية. ويمكن أن تتضمن العوامل التي تؤثر على نمو الطاقة النووية على المدى الطويل الآتي :

أ ـ **عوامل اجتماعية ذات طبيعة عالمية**: يدخل تحت هذا البند المؤثرات التراكمية على النمو الاجمالي للطاقة نتيجة لاتجاهات النمو في عدد السكان ، وأسلوب المعيشة ومصادر حماية البيئة؛ التي غالباً ما تؤثر على نمو الطاقة النووية.

ب ـ **تطور التكنولوجيا الحديثة للطاقة**: وهذه ستؤثر بطبيعة الحال على نمو الطاقة النووية. وقد تكون تكنولوجيا تحويل الفحم الى غاز هي الأولى في التأثير على النمط العالمي الاجمالي لموارد الطاقة، ثم يليها تطور نظم الطاقة الحرارية الأرضية وانتاج الهيدروجين والطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية وستكون آثار هذه التكنولوجيات صغيرة نسبياً قبل سنة ٢٠٠٠ الا انه لا يمكن تجاهلها.

جـ ـ **السياسات القومية للطاقة والتعاون الدولي**: ان السياسات القومية للطاقة مثل تلك الموجهة نحو الاستقلال في مجال الطاقة يمكن أن يكون لها اثر كبير وملموس على برامج الطاقة النووية كما أثبتت الاجراءات التي اتخذت بعد حظر البترول في عام ١٩٧٣. الا أن هذه السياسات قد تصبح أقل أهمية بعد نهاية هذا القرن مفسحة الطريق أمام تأكيد أكبر على التعاون الدولي في تطوير تكنولوجيا الطاقة والى تجميع المصادر في ظل البيئة العالمية التي تتناقص فيها موارد الطاقة.

ومن الصعب جداً التعرف على تقدير انعكاسات تلك العوامل التي قد تؤثر على مستقبل النمو للطاقة النووية؛ ومع ذلك فانه يمكن تقديم المقترحات المبدئية التالية: ـ

١ ـ انعكاسات العوامل الاقتصادية:

أحدث الركود الاقتصادي العالمي أثراً عميقاً على نمو الطاقة النووية، وقد لا يتم الانتعاش الكامل من هذا الركود خلال فترة السنوات القليلة القادمة، نظراً للوقت الطويل اللازم لامكان الحصول على منافع من الاستثمارات والانشاءات الجديدة. ومن المتوقع أيضاً أن يترتب على هذا الركود عدة عواقب مثل اللجوء الى المحافظة على الطاقة، والتغيير في أساليب الحياة وهذه سوف تستمر لمدة طويلة كما سيكون لها أهمية على المدى الطويل.

٢ ـ انعكاس عوامل امدادات الطاقة:

لا يمكن أن نتوقع إحلالاً على نطاق واسع لمصادر الطاقة القائمة حالياً قبل عام ٢٠٠٠. واذا نجحنا في ادخال المفاعلات السريعة المتوالدة باستخدام وقود من البلوتونيوم للحفاظ على مواردنا من اليورانيوم، فان الطاقة النووية ستساهم بصورة رئيسية في سد الاحتياجات من الطاقة في المستقبل.

٣ ـ أثر تطور التكنولوجيا:

ان الوصول بدورة الوقود الى المستوى التجاري واستخدام البلوتونيوم في المفاعلات الحرارية سوف يكون لهما على المدى القصير أثر على نمو الطاقة النووية. أما على المدى الطويل فان تطور التكنولوجيا لنظم الطاقة الجديدة مثل الطاقة الشمسية والطاقة الاندماجية يمكن أن يكون لها أثر كبير على نمو الطاقة النووية بعد عام ٢٠٠٠.

٤ ـ أثر السياسات:

ان سياسة الدول الصناعية بالنسبة لزيادة المعدلات المرغوبة للطاقة النووية، وموقفها تجاه استعادة الطاقة التي يحتويها الوقود المستنفد، وكذلك الاهتمام بتطوير المفاعلات السريعة المتوالدة سوف يكون لها أثر ملموس، ليس على برنامج انتاج الطاقة في المستقبل فحسب بل على النمو الاقتصادي ذاته. وأكثر من ذلك فان التعاون في مجال الطاقة بين الدول الصناعية المتقدمة والدول النامية سيكون له أيضاً أثر كبير على التنمية الاقتصادية العالمية.

١ ـ ٥ ـ ٢ التغييرات وعدم التيقن للتقديرات والتنبؤات المستقبلية:

نظراً للعوامل المذكورة آنفاً وفي ضوء التغييرات في الظروف الاجتماعية والسياسية والاقتصادية فان التقديرات والتنبؤات المنشورة لسعة الطاقة النووية في المستقبل تظهر تغييرات كبيرة كما انها كانت تتغير بصفة مستمرة

منذ السنوات المبكرة لتطور الطاقة النووية لاسيما خلال السنوات القليلة الماضية.

واذا فحصنا البيانات المعطاة خلال مختلف الفترات فاننا نجد قدراً كبيراً من عدم التحقيق والتناقص بين سعة الطاقة النووية المقدرة عن سنة معينة والخطط الفعلية المنفذة. فمثلا يوجد لدى الولايات المتحدة في الوقت الحاضر حوالي ٥٠٪ من اجمالي قدرة المحطات النووية في العالم التي تم تشغيلها. ويوجد ملخص للتنبؤات عن قدرات الطاقة النووية التي سيتم تشغيلها بحلول عام ١٩٨٠ في الجدول رقم (٦) ويتضح من هذا الجدول مدى الاختلافات بين تلك

جدول (٦) الاختلافات والتغيرات، للتنبؤات بشأن
نمو القدرة النووية عن عام ١٩٨٠
(ميجاوات كهربائي)

الولايات المتحدة		في جميع العالم	
تاريخ التنبؤ	القدرات المقدرة مستقبلياً (لعام ١٩٨٠)	تاريخ التنبؤ	القدرات المقدرة مستقبلياً (لعام ١٩٨٠)
١٩٦٢	٤٠٠٠٠	١٩٦٩	٣٣٠٠٠٠ - ٢٣٥٠٠٠
١٩٦٤	٧٥٠٠٠	١٩٧٠	٣٠٠٠٠٠
١٩٦٦	٩٥٠٠٠	١٩٧٣	٢٦٤٠٠٠
١٩٦٧	١٤٥٠٠٠	١٩٧٥	١٩٢٠٠٠ - ١٧٩٠٠٠
١٩٧٠	١٥٠٠٠٠	١٩٧٦	١٧٨٠٠٠
١٩٧١	١٥١٠٠٠	١٩٧٨	٧٣٣٧٨
١٩٧٢	١٣٢٠٠٠		
١٩٧٤	١٠٢٠٠٠		
١٩٧٦	٨٨٠٠٠		

التنبؤات ، خلال الفترة بين ١٩٦٢ و١٩٧٠ فان تنبؤات الطاقة النووية التي سيتم تشغيلها في عام ١٩٨٠ قد زادت الى ما يقرب من أربعة اضعاف بينما انه في الفترة بين عام ١٩٧٠ ، وعام ١٩٧٦ نجد أنها قد هبطت بمقدار ٤٥٪ ، بالرغم من حدوث زيادة سريعة وحادة في أسعار البترول خلال تلك الفترة . ولذلك فانه من الضروري أن تظل البيانات المنشورة عن التقديرات والمشروعات المخطط لها تحت المراجعة المستمرة ، كما ينبغي أن تؤخذ البيانات المعطاة في وقت معين كمقياس فقط للاتجاهات والمؤشرات وليست كأرقام محددة وثابتة .

١ - ٥ - ٣ التقديرات المستقبلية في الدول المتقدمة صناعياً :

تبلغ الطاقة النووية في البلاد المتقدمة صناعياً ما يربو على ٩٧٪ من مجموع القدرة المركبة للمحطات النووية الشغالة في جميع انحاء العالم ، كما أن صافي القدرة الكهربائية لمحطات الطاقة النووية التي تم تشغيلها في ١٦ دولة من الدول المتقدمة صناعياً قد بلغت ما يزيد على ١٠٠٠٠٠ ميجاوات ، وباضافة المحطات النووية التي يجري انشاؤها حالياً والتي تبلغ قدراتها ٣١٧٠٠٠ ميجاوات ، فان القدرة المركبة للمحطات النووية ستزداد الى ٤١٧٠٠٠ ميجاوات كهربائي في ١٨ دولة من الدول المتقدمة صناعياً . ويبين الجدول رقم (٧) عدد المفاعلات التي تم تشغيلها والتي يجري انشاؤها والمخطط لها ، وصافي القدرة الكهربائية المنتجة في كل من تلك الدول أن التقديرات المستقبلية للمتطلبات من الطاقة النووية في مختلف الدول المتقدمة صناعياً قد نشرت في عدد كبير من البحوث والتقارير ضمن وثائق المؤتمرات الدولية وفي ندوات الوكالة الدولية للطاقة الذرية . وقد نشرت أحدث التقديرات المستقبلية عن مشروعات الطاقة النووية في الدول المتقدمة صناعياً في مايو سنة ١٩٧٧ في مؤتمر سالزبورج عن القوى النووية ودورة الوقود الخاصة بها ؛ وكذلك في طبعة سنة ١٩٧٨ من تقرير الوكالة الدولية للطاقة الذرية المعنون « مفاعلات القوى في الدول الاعضاء » ويتضمن الجدولان (٨) ، (٩) ملخصاً لهذه البيانات .

جدول (٧) محطات القوى النووية الشغالة والتي يجري انشاؤها والمخطط لها في الدول المتقدمة صناعياً

المناطق والدول	عدد المفاعلات	صافي القدرة الكهربائية (ميجاوات كهربائي)
أمريكا الشمالية:		
الولايات المتحدة	٢٠٧	٢٠٢٢٦٩
كندا	٢٤	١٤٩٨٩
غرب أوروبا :		
النمسا	١	٦٩٢
بلجيكا	٩	٦٤٩٣
سويسرا	٧	٤٩٣٣
المانيا الغربية	٤٠	٣٦٤٥٧
اسبانيا	١٩	١٥٩٩١
فنلندا	٥	٣١٦٠
فرنسا	٤٠	٣١٥٤٣
المملكة المتحدة	٤٣	١٤٣١٨
ايطاليا	٨	٥٢٤٢
هولندا	٢	٤٩٩
السويد	١٢	٩٤٤٢
أوروبا الشرقية والاتحاد السوفييتي :		
المانيا الشرقية	١٣	٤٩٥٩
تشيكوسلوفاكيا	١٢	٤٦٥١
الاتحاد السوفييتي	٥٨	٣٦٤١٦
اليابان	٣٣	٢٢٧٧٩
جنوب أفريقيا	٢	١٨٤٣
المجموع	٥٣٥	٤١٦٦٧٦

جدول (٨) تقديرات نمو الطاقة النووية لدول منظمة
التعاون الاقتصادي والقيمة (ميجاوات كهربائي)

المناطق	١٩٨٠		١٩٨٥		١٩٩٠		١٩٩٥		٢٠٠٠	
	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع
منطقة أوروبا	٥٨	٦٧	١٢٥	١٦٨	٢٠٠	٢٨٦	٢٨٤	٤١٨	٣٠٧	٥٦٠
منطقة أميركا الشمالية	٧٤	٨٨	١٤١	١٧٢	٢١٥	٣٠٩	٣٠٥	٥١٤	٣٧٠	٨١٠
منطقة الباسفيك	١٥	١٧	٢٧	٤٩	٥٢	٨٥	٩٢	١٥٨	١٥٢	٢٧٠
النسبة المئوية للطاقة النووية	١٢ر٢	١٣ر٠	٢٠ر٤	٢١ر٢	٢٦ر٠	٢٨ر٧	٣٢ر٣	٣٥ر٦	٣٥ر٦	٤٤ر٠
الطاقة النووية الاجمالية	١٤٧	١٧٢	٢٩٣	٣٨٩	٤٦٧	٦٨٠	٦٨١	١٠٩٠	٨٢٩	١٦٤٠
الطاقة الكهربائية الاجمالية	١٢٠٨	١٣٢٥	١٤٣٨	١٨٣٧	١٧٩٧	٢٣٦٨	٢١١١	٣٠٦١	٢٣٣٠	٣٧٢٨

جدول (٩) نمو القدرات النووية في الدول المتقدمة صناعياً
(ميجاوات كهربائي)

الدولة / السنة	١٩٨٠	١٩٨٥	١٩٩٠	١٩٩٣
الولايات المتحدة الأمريكية	٧٣٣٧٨	١٤٧٠٣٣	١٩٢١٧٠	٢٠٠٢٦٠
الاتحاد السوفييتي	١٦٨١٦	٢٢٨١٦	٢٤٨١٦	٢٤٨١٦
السويد	٧٣٢٢	٩٤٤٢	١٠٣٤٢	١٠٣٤٢
هولندا	٤٩٩	٤٩٩	٤٩٩	٤٩٩
اليابان	١٤٤٦٦	٢٢٤٢٩	٢٣٤٢٩	٢٣٤٢٩
ايطاليا	١٣٨٢	٥٢٧٨	٥٢٧٨	٥٢٧٨
المملكة المتحدة	١٠٦٩٦	١٠٦٩٦	٩٤٦	٩٤٦
فرنسا	١٦٤٢٨	٣١٥٤٣	٣١٥٤٣	٣١٥٤٣
فنلندا	٢١٦٠	٢١٦٠	٣١٦٠	٣١٦٠
اسبانيا	٥٤٧١	١٢١٩١	١٥٠٩١	١٥٠٩١
المانيا الاتحادية	١٣٠٣٨	٣١٥٠٧	٣٤٠٠٧	٣٤٠٠٧
المانيا الديموقراطية	٣٣٢٧	٤٩٥٩	٤٩٥٩	٤٩٥٩
تشيكوسلوفاكيا	١٧١١	٤٢٣١	٤٦٥١	٤٦٥١
سويسرا	٢٨٦٨	٧٨٣٣	٧٨٣٣	٧٨٣٣
كندا	٦٧٥٩	١١٩٢٧	١٥٢٣٩	١٥٢٣٩
بلجيكا	٣٤٧٥	٦٤٩٣	٦٤٩٣	٦٤٩٣
النمسا	٦٩٢	٦٩٢	٦٩٢	٦٩٢
جنوب أفريقيا	-	١٨٤٣	١٨٤٣	١٨٤٣
المجموع	١٨٠٤٨٨	٣٣٣٥٢٢	٣٩٣٧٤١	٤٠١٨٣١

ويمكن ملاحظة أن هناك اختلافات كبيرة بين التنبؤات الواردة بالجدول (٨)، فعلى سبيل المثال تظهر التقديرات المنخفضة بأنها تقل بمقدار ١٤٪ و٣٣٪ لعامي ١٩٨٠، ١٩٨٥ على الترتيب، عن التقديرات التي نشرت قبل ذلك في «تقرير اليورانيوم» لعام ١٩٧٥ الصادر عن منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية ووكالة الطاقة النووية والوكالة الدولية للطاقة الذرية.

ويمكن تفسير هذا الاتجاه الى الانخفاض في التقديرات الى حد كبير بسبب البطء النسبي في استعادة الانتعاش الاقتصادي، وبسبب اللجوء على المدى القصير الى استخدام محطات الوقود التقليدي نظراً لارتفاع تكاليف الانشاء وطول الفاصل الزمني الذي يتطلبه تنفيذ المحطات النووية، كما انها تُعزى جزئياً الى عدم تقبل الرأي العام للقوى النووية. وعلى أية حال فان هذا الاتجاه يمكن أن ينعكس في المستقبل كنتيجة للزيادة المستمرة في أسعار البترول بعد زيادتها الى أربعة أمثالها في عام ١٩٧٣. وفي كثير من الدول تعتبر ان الطاقة النووية هي البديل الرئيسي للامدادات من احتياجات الطاقة في المستقبل، وذلك للتقليل من الاعتماد على واردات البترول وتجنب الصعوبات المترتبة على عدم امكان التحقق من احتياطياته وأسعاره في المستقبل. واذا أضفنا الى الأرقام الواردة بالجدول رقم (٨) التقديرات عن نمو الطاقة النووية في الاتحاد السوفييتي وفي الدول ذات التخطيط الاقتصادي المركزي كما نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فان التقديرات المستقبلية عن اجمالي القدرة للطاقة النووية في الدول المتقدمة صناعياً تصل الى ٤٦٠ جيجاوات في عام ١٩٨٥ وتزيد الى ١٩٨٠ جيجاوات بحلول عام ٢٠٠٠ كحد اقصى والى ٣٣٠ جيجاوات في عام ١٩٨٥، و ١٠٤٠ جيجاوات في عام ٢٠٠٠ كحد أدنى وسوف ترتفع مساهمة المحطات النووية في توليد الطاقة الكهربائية تدريجياً حتى تصل الى حوالي ٤٠٪ في عام ٢٠٠٠.

١ - ٥ - ٤ التقديرات المستقبلية في الدول النامية:

تمثل الطاقة النووية ضرورة حيوية للدول النامية ، ومن المتوقع أن تلعب دوراً هاماً في الوفاء باحتياجات الطاقة خلال الأحقاب القادمة في كثير من الدول النامية . ويعزى ذلك أساساً الى الموارد الوطنية المحدودة والزيادات في الأسعار العالمية للبترول . وتواجه الدول النامية عقبات في توفير احتياجاتها الضرورية من البترول لتشغيل محطاتها الحرارية حتى أن بعض الدول المنتجة للبترول قد تحولت الى استخدام الطاقة النووية لتوفير مقادير اضافية من البترول لاستخدامها في الصناعة أو التصدير . وبالرغم من هذه المنفعة الواضحة والحاجة الى الطاقة النووية فان القدرة الكهربائية للمحطات النووية التي تم تشغيلها حتى الآن ، والمبينة بالجدول رقم (١٠) تبلغ حوالي ٢٠٠٠ ميجاوات فقط وهذه تمثل حوالي ٢٪ من القدرة الكلية للمحطات النووية الشغالة في العالم وان خمس دول فقط من الدول النامية توجد بها محطات نووية شغالة حالياً كما ان هناك محطات نووية يجري انشاؤها أو مخطط لها في احدى عشر دولة أخرى ، وبذلك سوف تصل القدرة المركبة للمحطات النووية بالدول النامية الى حوالي ٢٨٠٠٠ ميجاوات في منتصف الثمانينات . ويبين الجدول رقم (١١) عدد المفاعلات وصافي القدرة الكهربائية في كل دولة من المناطق النامية المختلفة في العالم .

لقد كانت التقديرات المستقبلية طويلة الأمد للطاقة النووية موضوع دراسات مستفيضة ومتعددة في كثير من الدول النامية وفي الوكالة الدولية للطاقة الذرية . وأشارت نتائج هذه الدراسات الى الدور الكبير للطاقة النووية في المستقبل في كثير من الدول النامية . كما قدمت تقارير وبحوث كثيرة عن التقديرات والتنبؤات لزيادة القدرة النووية في المستقبل في كل من الدول النامية . وغالباً ما يعبر عن هذه البيانات باعطاء مدى للأرقام بين التقدير الأعلى والتقدير المنخفض بدلا من اعطاء أرقام محددة . ويرجع السبب في ذلك

الى أن هناك كثير من اللاتحققية والفروض الضمنية في عملية التنبؤ والطرق المستخدمة في اجرائها والظروف التي تبنى عليها هذه التنبؤات. وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام ١٩٧٣ بمسح شامل لدراسة تسويق محطات الطاقة النووية التي سوف يتم تنفيذها خلال الفترة من عام ١٩٨٠ الى عام ١٩٩٠ في أربعة عشرة دولة من الدول النامية التي شاركت في هذه الدراسة. وكان الهدف الأساسي من عمل هذا المسح هو تحديد حجم المحطات النووية والجدول الزمني لاقامتها في كل من الدول المشتركة خلال الفترة المحددة للدراسة والتي يمكن انشاؤها على أسس اقتصادية. وقد نشرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة في أربعة عشرة تقريراً يختص كل منها باحدى الدول المشتركة في الدراسة، وكذلك تقرير عام واحد يتضمن النتائج الشاملة والاتجاهات الرئيسية لجميع الدول المشاركة.

جدول (١٠) محطات القوى النووية الشغالة التي يجري انشاؤها في الدول النامية

المناطق والدول	محطات شغالة			محطات تحت الانشاء		
	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	نوع المفاعل	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	نوع المفاعل
أمريكا اللاتينية:						
الأرجنتين	١	٣٤٥	PHWR	١	٦٠٠	PHWR
البرازيل	-	-	-	٣	٣١١٦	PWR
كوبا	-	-	-	١	٤٤٠	PWR
المكسيك	-	-	-	٢	١٣٠٨	PWR
الشرق الأوسط وجنوب اسيا:						
الهند	٣	٦٠٢	2 BWR, 1PHWR	٥	١٠٨٧	PHWR
ايران	-	-	-	٤	٤١٨٢	PWR
باكستان	١	١٢٦	PHWR	-	-	—
أوروبا الشرقية:						
بلغاريا	٢	٨٣٧	PWR	٢	٨٤٠	PWR

تابع الجدول رقم (١٠)

المناطق والدول	محطات شغّالة			محطات تحت الانشاء		
	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	نوع المفاعل	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	نوع المفاعل
يوغوسلافيا	-	-	-	١	٦٣٢	PWR
المجر	-	-	-	٢	٨١٦	PWR
جنوب شرق آسيا والباسفيك :						
الفيليبين	-	-	-	١	٦٢١	PWR
كوريا	١	٥٦٤	PWR	٢	١٢٣٤	PWR
المجموع	٨	٢٤٧٤	-	٢٤	١٤٨٧٦	—

جدول (١١) محطات القوى النووية الشغالة والتي يجري انشاؤها والمخطط لها في الدول النامية

المناطق والدول	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)
أمريكا الوسطى والجنوبية:		
الأرجنتين	٣	١٥٠٥
البرازيل	٣	٣١١٦
المكسيك	٢	١٣٠٨
كوبا	٢	٨٨٠
المجموع للمنطقة	١٠	٦٨٠٩
آسيا والشرق الأقصى:		
الهند	٨	١٦٨٩
ايران	٨	٨٩٨٢
باكستان	١	١٢٦
كوريا	٥	٣٥٩٨
الفيليبين	١	٦٢١
المجموع للمنطقة	٢٣	١٥٠١٦
الدول ذات التخطيط المركزي:		
رومانيا	١	٤٤٠
بولندا	٣	١٨١٦
المجر	٤	١٦٣٢
بلغاريا	٤	١٦٧٧
المجموع للمنطقة	١٢	٥٥٦٥

تابع جدول رقم (١١)

المناطق والدول	عدد المفاعلات	القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)
أوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا:		
يوغوسلافيا	١	٦٣٢
تركيا	١	٦٢٠
مصر	١	٦٢٢
المجموع للمنطقة	٣	١٨٧٤
المجموع لجميع المناطق	٤٨	٢٩٢٦٤

وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بنشر هذه التقارير وهي تتضمن بيانات مستفيضة عن مجموعات الشبكات الكهربائية في الدول المختارة وكذلك التسويق للطاقة النووية في كل دولة، وحجم وتوقيت ادخال المحطات النووية المقترح انشاؤها مستقبلا في كل منها. وبالاضافة الى ذلك فان التقارير تحتوي أيضاً على دراسات عن حساسية السوق بالنسبة لعدد من المتغيرات والعوامل مثل معدلات الخصم والفائدة على رأس المال ومعدلات زيادة أسعار الوقود، وتكاليف الانشاء واحتياجات التمويل لخطط التوسع في مجموعات الطاقة. ويلخص الجدول رقم (١٢) النتائج التي تم الحصول عليها للتقديرات المستقبلية للقدرة النووية التي يلزم اضافتها في كل دولة. ويمكن ملاحظة انه خلال الفترة من ١٩٨٠ الى ١٩٩٠ فان اجمالي الاضافات للقدرة النووية تتراوح بين ٥٢٢٠٠ ميجاوات كهربائي و٦٢١٠٠ ميجاوات كهربائي. وقد تم تحديث هذه التقديرات المستقبلية في عام ١٩٧٤ بعد الارتفاع في أسعار البترول من ٣

دولار الى ١١٫٦٥ دولار للبرميل في ديسمبر عام ١٩٧٣ ، وقد أدت الزيادة الى اعطاء ميزة اقتصادية كبيرة للمحطات النووية كما أظهرت أنه بعد أن كانت المحطات النووية قبل عام ١٩٧٣ تتنافس مع المحطات التقليدية التي تعمل بالبترول عند أحجام ٦٠٠ ميجاوات كهربائي أو أكثر ، تغير الوضع الاقتصادي في عام ١٩٧٤ بحيث هبط حجم المنافسة الاقتصادية للوحدات النووية الى ٢٠٠ ميجاوات كهربائي أو الى أقل من ذلك. وقد ثبت بمزيد من الوضوح أنه في ضوء هذه الأسعار الجديدة للبترول فان نظرة المستقبل بالنسبة للقوى النووية بصفة عامة وللمحطات النووية ذات الحجم الصغير أو المتوسط بصفة خاصة قد زادت بدرجة كبيرة.

وقد تلا ذلك امتداد نتائج هذه الدراسة للمسح الشامل للسوق بالنسبة للأربعة عشرة دولة المختارة لتغطية بقية الدول النامية الأخرى على أساس مجموع الدول التي لها حق في الحصول على معونة فنية من برنامج الأمم المتحدة للتنمية. وقد قامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بنشر نتائج المراجعة التي أجريت على الدراسة الأصلية لعام ١٩٧٣ ، وكذلك بعد توسيعها وامتدادها لتغطية جميع الدول النامية الأخرى ، مع الأخذ في الاعتبار أسعار البترول الأكثر ارتفاعاً والتغيرات لاقتصاديات القوى النووية التي حدثت منذ عام ١٩٧٤.

جدول (١٢) تقديرات مستقبلية عن اضافات القدرة النووية في الدول النامية المشتركة في المسح الشامل للسوق الذي قامت به الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٣

الدولة	القدرة النووية الحالية (ميجاوات كهربائي)	القدرة الاضافية المقدرة مستقبلياً بحلول عام ١٩٨٠		القدرة الاضافية المقدرة مستقبلياً بحلول ١٩٨٥		القدرة الاضافية الاجمالية المقدرة مستقبلياً بحلول ١٩٩٠	
		مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض
الأرجنتين	٣٤٥	٦٠٠	٦٠٠	٢٤٠٠	٢٤٠٠	٦٠٠٠	٦٠٠٠
بنغلاديش	-	-	-	-	-	٦٠٠	-
شيلي	-	-	-	٦٠٠	٦٠٠	١٢٠٠	١٢٠٠
مصر	-	-	-	١٢٠٠	١٢٠٠	٤٢٠٠	٤٢٠٠
اليونان	-	-	-	١٨٠٠	١٨٠٠	٤٢٠٠	٤٢٠٠
جامايكا	-	-	-	-	-	٣٠٠	-
كوريا	٥٦٤	-	-	٣٦٠٠	٣٦٠٠	٨٨٠٠	٨٨٠٠
المكسيك	-	-	-	٥٨٠٠	٥٨٠٠	١٤٨٠٠	١٤٨٠٠
باكستان	١٢٦	-	-	-	-	٦٠٠	٦٠٠
الفيليبين	-	-	-	١٢٠٠	١٢٠٠	٣٨٠٠	٣٨٠٠
سنغافورة	-	-	-	-	-	٢٦٠٠	-
تايلاند	-	-	-	٨٠٠	-	٢٦٠٠	٨٠٠
تركيا	-	-	-	-	-	٣٢٠٠	١٢٠٠
يوغوسلافيا	-	-	-	٣٠٠٠	٢٠٠٠	٩٢٠٠	٤٨٠٠
المجموع	١٠٣٥	٦٠٠	٦٠٠	٢٠٤٠٠	١٩٤٠٠	٦٢١٠٠	٥٢٢٠٠

وقد أصدرت الوكالة الدولية طبعة مجددة في عام ١٩٧٤ للتقرير الخاص بنتائج الدراسات لمسح السوق للقوى النووية بالدول النامية. ويوضح الجدول رقم (١٣) النتائج التي وردت للتقديرات المستقبلية بعد المراجعة التي أجريت للقدرات النووية التي يلزم اضافتها في كل من الأربعة عشر دولة الأصلية. وتتمشى هذه الاضافات للقدرات النووية الواردة بهذا الجدول مع التقديرات المرتفعة الواردة بهذا الجدول مع التقديرات المرتفعة الواردة بالجدول رقم (١٢). ويمكن ملاحظة أن نتيجة هذه المراجعة للدراسات قد نشأ عنها زيادة في الاضافات للقدرات النووية بحلول عام ١٩٨٥ من ٢٠٤٠٠ الى حوالي ٢٨٠٠٠ ميجاوات كهربائي وبحلول عام ١٩٩٠ من ٦٢١٠٠ الى ٨٦١٠٠ ميجاوات كهربائي.

ويبين الجدول رقم (١٤) ملخصاً لنتائج هذه الدراسة الموسعة لمسح السوق للقوى النووية بعد امتدادها الى جميع الدول النامية الأخرى، كما يوضح هذا الجدول كذلك الاضافات للقدرات النووية في مختلف المناطق لدول العالم النامي ويوجد بيان بالدول التي تضمنتها كل منطقة في نهاية الجدول. ويمكن أن نتبين أن السعة الكلية لقدرة المحطات النووية التي قد يتم تركيبها خلال الفترة ١٩٨٠/١٩٩٠ تبلغ حوالي ٢٢٠٠٠٠ ميجاوات كهربائي. كما يتضح أيضاً أن أكبر نمو للطاقة النووية قد قدر لمنطقة آسيا والشرق الأقصى ثم يليها وبنفس المستوى تقريباً منطقة أوروبا ومنطقة الشرق الأوسط وأفريقيا ومنطقة أمريكا الوسطى والجنوبية. ويجب التأكيد على أن دراسة مسح السوق قد بنيت فقط على عنصر المنافسة الاقتصادية للمحطات النووية مع الموارد البديلة للطاقة. وبالتالي فان نتائج مثل هذه الدراسات يمكن أن تؤخذ فقط كمؤشرات للاتجاهات العامة، ومن ثم ينبغي اعتبار انها تمثل أهدافاً أكثر منها تنبؤات واقعية لخطط محددة. وان تحديد دور الطاقة النووية في المستقبل في أية دولة معينة ومدى ادخال المحطات النووية يتوقف بالاضافة الى الاعتبارات

جدول (١٣) تحديث التقديرات للمسح الشامل للسوق
عن الاضافات للقدرات النووية في الدول النامية ١٩٧٤

الدولة	القدرة النووية الحالية (ميجاوات كهربائي)	القدرة الاضافية المقدرة بحلول ١٩٨٠ (ميجاوات كهربائي)	القدرة الاضافية المقدرة بحلول ١٩٨٥ (ميجاوات كهربائي)	اجمالي القدرات الاضافية المقدرة بحلول ١٩٩٠ (ميجاوات كهربائي)
الأرجنتين	٣٤٥	-	٢٠٠٠	٦٦٠٠
بنغلاديش	-	-	١٣٠٠	٤٠٠٠
شيلي	-	-	٦٠٠	١٧٠٠
مصر	-	-	١٢٠٠	٥٠٠٠
اليونان	-	-	٢٠٠٠	٥٠٠٠
جاميكا	-	-	٦٠٠	١٧٥٠
كوريا	٥٦٤	-	٣٠٠٠	٨٦٠٠
المكسيك	-	-	٧٨٠٠	٢٠٩٠٠
باكستان	١٢٦	-	١٢٠٠	٤٨٠٠
الفيليبين	-	-	١٢٠٠	٤٨٠٠
سنغافورة	-	-	١٦٥٠	٤٢٥٠
تايلاند	-	-	١٤٠٠	٣٧٠٠
تركيا	-	-	١٢٠٠	٥٠٠٠
يوغوسلافيا	-	-	٢٨٠٠	١٠٠٠٠
المجموع	١٠٣٥	-	٢٨٠٥٠	٨٦١٠٠

جدول (١٤) المسح الشامل الموسع للسوق ليشمل تقديرات اضافات القدرات النووية في جميع الدول النامية.

المناطق	تقديرات اضافات القدرة النووية (ميجاوات كهربائي)		
	بحلول ١٩٨٠	بحلول ١٩٨٥	بحلول ١٩٩٠
أمريكا الوسطى والجنوبية[١]	-	١٦٨٥٠	٥٣٥٠٠
أوروبا والشرق الأوسط وأفريقيا[٢]	-	١٧٧٠٠	٥٤٢٠٠
آسيا والشرق الأقصى[٣]	-	٢٨٣٠٠	٨٢٣٥٠
دول التخطيط المركزي[٤]	-	٩٨٠٠	٢٩٨٠٠
المجموع	-	٧٢٦٥٠	٢١٩٨٥٠

(١) المكسيك - البرازيل - الارجنتين - فنزويلا - بيرو - شيلي - كولومبيا - كوبا - جامايكا - اورجواي - كوستاريكا - پناما - جمهورية الدومنيكان - الاكوادور - بوليفيا - جواتيمالا - السلفادور.

(٢) اسبانيا - يوغوسلافيا - اليونان - تركيا - مصر - الأراضي المحتلة - الكويت - العراق - غانا - المغرب - الجزائر - نيجيريا - لبنان - الكاميرون - سوريا - البانيا - أوغندا - تونس - زامبيا - العربية السعودية.

(٣) الهند - ايران - تايوان - كوريا - باكستان - تايلاند - الفيليبين (لوزون) - هونج كونج - سنغافورة - ماليزيا - أندونيسيا (جاوا) - جمهورية فيتنام - بنغلاديش.

(٤) بولندا - رومانيا - تشيكوسلوفاكيا - بلغاريا - المجر.

الاقتصادية ، على مجموعة متنوعة من عوامل هامة أخرى وعلى تأثير اختناقات ترتبط بالحالة السائدة في هذه الدولة. وسيناقش هذا الجانب الهام بالنسبة لادخال الطاقة النووية في الدول النامية بالتفصيل في الباب الخامس من هذا التقرير. ويوضح الجدول رقم (١٥) أحدث التنبؤات عن الطاقة النووية في مختلف الدول النامية والتي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في طبعة عام ١٩٧٨ من تقريرها بعنوان «مفاعلات القوى في الدول الأعضاء».

وتبين الأرقام الواردة بهذا الجدول أنه من المتوقع أن تبلغ سعة القدرات النووية ٢٨٨٤٢ ميجاوات كهربائي بحلول عام ١٩٩٠ وانها ستظل دون تغيير من الناحية العملية حتى نهاية عام ١٩٩٣. وبمقارنة الأرقام الواردة بالجدول (١٥) بنتائج مسح السوق للاضافات من القدرات النووية المقدرة مستقبلياً حتى عام ١٩٩٠ والواردة بالجدول (١٢) والنتائج المراجعة لمسح السوق الواردة بالجدول (١٣)، يتضح أن أحدث التقديرات التي نشرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية هي أكثر انخفاضاً من التقديرات المستقبلية السابقة لنتائج مسح السوق لعام ١٩٧٣ وتقل عنها بحوالي ٥٠٪ ، كما تقل كذلك عن النتائج المجددة لعام ١٩٧٤ بحوالي ٧٠٪. وبالرغم من هذه الاختلافات والتفاوت بين مختلف التقديرات المستقبلية ، فمن الواضح أن التوقعات لدور القوى النووية في الدول النامية عظيمة ، ومن المقدر أن القوى النووية في الدول النامية ستزداد من مستواها الحالي الذي يبلغ حوالي ٢٪ الى ما يقرب من ٨٪ بحلول عام ١٩٨٥ والى حوالي ٢٠٪ بحلول عام ٢٠٠٠.

جدول (١٥) تقديرات مستقبلية حديثة عن نمو القدرة النووية في الدول النامية (الوكالة الدولية للطاقة الذرية ١٩٧٨) (ميجاوات كهربائي)

الدولة / السنة	١٩٨٠	١٩٨٥	١٩٩٠	١٩٩٣
الأرجنتين	٩٤٥	٩٤٥	١٥٠٥	١٥٠٥
بلغاريا	١٦٧٧	١٦٧٧	١٦٧٧	١٦٧٧
البرازيل	٦٢٦	٣١١٦	٣١١٦	٣١٦٦
كوبا	-	٨٨٠	٨٨٠	٨٨٠
الهند	١٠٢٩	١٦٨٩	١٦٨٩	١٦٨٩
ايران	١٢٠٠	٦٥٨٢	٨٩٨٢	٨٩٨٢
كوريا	٥٦٤	٣٥٩٨	٣٥٩٨	٣٥٩٨
المكسيك	-	١٣٠٨	١٣٠٨	١٣٠٨
الفيليبين	-	٦٢١	٦٢١	٦٢١
باكستان	١٢٦	٧٢٦	٧٢٦	٧٢٦
بولندا	-	٨١٦	٨١٦	٨١٦
رومانيا	-	٤٤٠	٤٤٠	٤٤٠
المجر	٤٠٨	١٦٣٢	١٦٣٢	١٦٣٢
يوغوسلافيا	-	٦٣٢	٦٣٢	٦٣٢
تركيا	-	٦٢٠	٦٢٠	٦٢٠
تايلاند	-	-	٦٠٠	٦٠٠
مصر	-	-	٦٢٢	٦٢٢
المجموع	٦٥٧٥	٢٤٦٦٢	٢٨٨٤٢	٢٨٨٤٢

الباب الثاني

أنواع نظم مفاعلات القوى النووية

٢ ـ ١ مقدمة:

يتم بناء مفاعلات القوى النووية المستخدمة في محطات الطاقة النووية لتوليد الكهرباء وتشغيلها لانتاج الطاقة الحرارية من خلال التفاعل الانشطاري المتسلسل لليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ ، وتستغل الحرارة المتولدة من الانشطار في جميع أنواع مفاعلات القوى لانتاج الطاقة من خلال انتقال هذه الحرارة الى وسط تبريد لتوليد البخار الذي يدير مجموعة التربين والمولد لتوليد الكهرباء. وتقسم أنواع مفاعلات القوى بصفة عامة طبقاً للعناصر الأساسية لقلب المفاعل وهي المهدىء والمبرد وشكل الوقود المستخدم.

ويتناول هذا الباب الأنواع المختلفة لنظم مفاعلات القوى النووية التي تم تطويرها كما يتضمن وصفاً فنياً وبياناً لأهم خصائص التصميم لكل نوع من أنواع المفاعلات وكذلك استعراضاً وتقيياً للوضع الراهن وخبرة التشغيل لكل منها في محطات الطاقة النووية.

٢ ـ ٢ تقسيم نظم مفاعلات القوى النووية:

يمكن تقسيم نظم مفاعلات القوى التي تم تطويرها واستخدامها تجارياً في محطات الطاقة أو التي بلغت على الأقل مرحلة التشغيل كنموذج أولي الى ثلاث فئات رئيسية وهي: ـ

الفئة الأولى :

تضم هذه الفئة نظم المفاعلات التي اكتمل ثبوت اعتماد صلاحيتها وتجربتها . وتشمل أنواع المفاعلات التي أنشئت وتم تشغيلها في عدد من محطات القوى على النطاق التجاري والتي تعمل وتنتج الطاقة بصورة مرضية ، وتتضمن هذه الفئة الأنواع الرئيسية الآتية : ـ

١ ـ مفاعلات الماء العادي المضغوط واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (PWR) .
٢ ـ مفاعلات الماء العادي المغلي واليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (BWR) .
٣ ـ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت (GCR) .
٤ ـ مفاعلات اليورانيوم الطبيعي والمبردة المهدأة بالماء الثقيل (PHWR) .

وبالرغم من أن جميع الأنواع الأربعة السابقة قد استخدمت على المستوى التجاري في محطات الطاقة الكبيرة التي تم تشغيلها لسنوات عديدة ، الا أن الأنواع الثلاثة الأولى منها فقط هي التي يمكن الحصول عليها حالياً من الشركات المنتجة بينما لم يعد النوع الرابع متاحاً على النطاق التجاري .

الفئة الثانية :

تضم هذه الفئة نظم المفاعلات التي ثبتت جزئياً صلاحيتها وتجربتها ، وتشمل أنواع المفاعلات التي تم التشغيل الفعلي لنموذج أولي واحد منها على الأقل بحجم متوسط أو كبير ، والتي سيكون لها امكانية التطوير مستقبلاً للاستخدام في المحطات التجارية وتتضمن هذه الفئة الأنواع الرئيسية الآتية : ـ

١ ـ المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز (AGR) .
٢ ـ المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة غازياً والمهدأة بالجرافيت (HTGR) .
٣ ـ المفاعلات المبردة بالماء العادي والمهدأة بالجرافيت (LWGR) .
٤ ـ المفاعلات السريعة المتوالدة (FBR) .

وقد أنشئت الأنواع الأربعة السابقة اما كنموذج أولي أو للمحطات التجارية على نطاق محدود بحيث لا يمكن حالياً اعتبارها نظماً كاملة الصلاحية والتجربة. ورغم أن التصميم والتقنية لجميع هذه الأنواع قد تم تطويرها بدرجة كافية، وثبت نجاحها في انتاج الطاقة الا انها ما زالت تحتاج للمزيد من التطوير في التقنية وتحسين الاقتصاديات لتصبح من الأنواع المتاحة على المستوى التجاري لانتاج الطاقة على نطاق كبير.

الفئة الثالثة:

وتضم هذه الفئة كافة أنواع المفاعلات الأخرى التي أنشئت كمحطات تجريبية أو كنماذج أولية ولكن أعمال البحوث والتطوير التي تجري عليها محدودة نسبياً، ورغم أن مفاهيم تصميم المفاعل قد جربت الا أن تقييمها الكامل للاستخدام في المحطات الكبيرة يتطلب الكثير من أعمال التطوير، ويمكن أن يدرج تحت هذه الفئة أنواع المفاعلات التالية: ـ

١ ـ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة بالماء العادي المغلي (HWLWR أو SGHWR).

٢ ـ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة غازياً (HWGCR).

٣ ـ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت (SGR).

٤ ـ المفاعلات المبردة والمهدأة بمواد عضوية (OMR).

٥ ـ مفاعل التحكم بازاحة الطيف النيوتروني (SSCR).

نظم المفاعلات الأخرى:

هناك عدد قليل من المفاهيم الأخرى التي بحثت للمفاعلات، يجدر الاشارة اليها هنا باختصار مثل المفاعلات المتجانسة التي أثبتت جميع التجارب عدم نجاحها وكذلك نظم مفاعلات الوقود المسيل أو العالق، ولا يجري حالياً أي مزيد من العمل لتطوير هذه المفاهيم كما ان فكرة استخدام الأملاح السائلة

كمبردات للمفاعلات ثبت انها تسبب الصدأ بدرجة كبيرة. وهناك أيضاً فكرة المفاعلات التي تستخدم النيوترونات فوق الحرارية أو المتوسطة التي لم تظهر انها تعطي أية ميزات تبرر جدية بحثها.

٢ ـ ٣ مسح لنظم مفاعلات القوى النووية:

أولا النظم كاملة الصلاحية:

٢ ـ ٣ ـ ١ مفاعلات الماء العادي المضغوط (PWR)

٢ ـ ٣ ـ ١ ـ ١ التطور التاريخي:

بدأت فكرة هذا النوع من المفاعلات لاستخدامها في محركات الدفع للوحدات العسكرية وتم تشغيلها بنجاح في الغواصات بالولايات المتحدة الأمريكية في بداية عام ١٩٥٤ عندما تم تدشين أول غواصة نووية المعروفة باسم « نوتيلس ». وقد أعقب ذلك تطوير هذا النوع لتوليد القوى للأغراض المدنية وتم انشاء أول محطة كنموذج أولي للطاقة النووية في « شيبنج يورت » بقدرة كهربائية مقدارها ٦٠ ميجاوات.

ويعمل الآن أكبر عدد من المحطات على المستوى التجاري التي تستخدم مفاعلات قوى من هذا النوع وبأكبر صافي للقدرة الكهربائية بكل من الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفييتي والمانيا الغربية وفرنسا، وهي الدول التي تعتبر جهات التصميم والتصدير الرئيسية ويعتبر هذا النوع للمفاعلات من الأنواع التي تم اعتماد صلاحيتها وتجربتها وقد أنشئت في كثير من الدول في أوروبا الغربية والشرقية واليابان وعدد من الدول النامية.

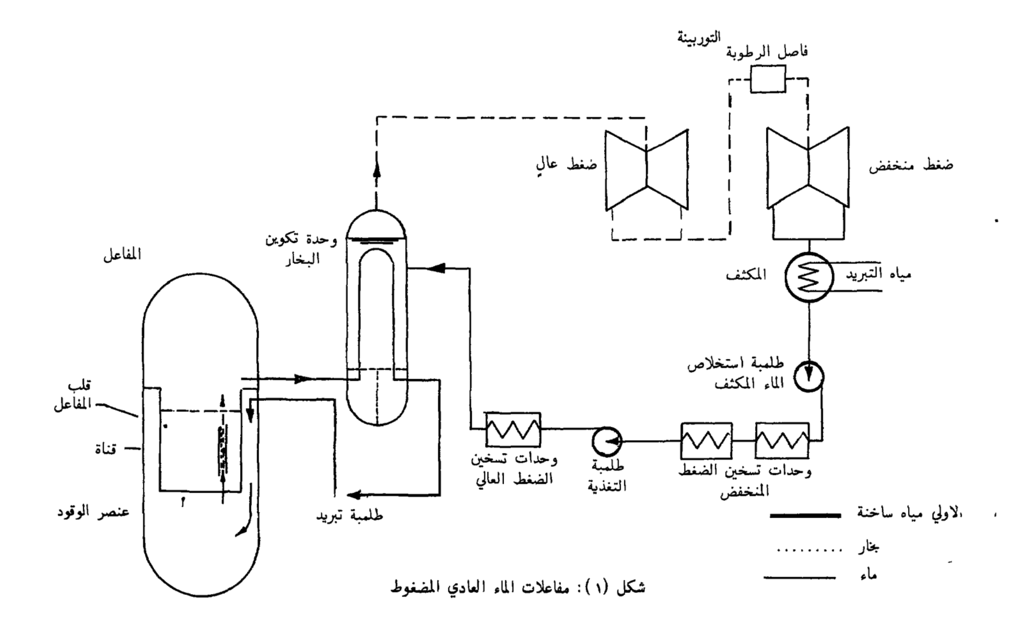
٢ ـ ٣ ـ ١ ـ ٢ الوصف وسمات التصميم الرئيسية:

يوجد قلب المفاعل داخل وعاء كبير يتحمل الضغط العالي وفيه يستخدم الماء العادي كمهدىء ومبرد في دائرة ابتدائية مغلقة، وتمر المياه خلال هذه

الدائرة الابتدائية الى مبادل حراري حيث يتولد في دائرة ثانوية البخار الذي يستخدم لادارة وحدة من تربين ومولد كهربائي لتوليد الطاقة الكهربائية. ويبين الشكل رقم (١) تمثيلا تخطيطياً مبسطاً لهذا النظام. ونظراً لأن ضغط التشغيل بداخل الوعاء الذي يحتوي على قلب المفاعل مرتفع نسبياً اذ يتراوح بين ١٥٠ و١٦٠ كجم/سم٢ فانه يلزم تصميم وعاء ضغط كبير وثقيل يصل وزنه الى مئات الأطنان. ونظراً لهذا الضغط المرتفع وكذلك ارتفاع كثافة القدرة بداخل وعاء الضغط واحتمال انطلاق طاقة كبيرة جداً في حالة حدوث ما يسمى بأسوأ حادثة ممكنة فمن الضروري وجود وعاء احتواء خارجي آخر متين. وباستثناء وعاء الضغط فان باقي المكونات الأخرى للمفاعل يمكن نقلها بسهولة من المصانع الى موقع المحطة، كما يمكن تركيبها بسرعة وبجد أدنى من العمالة.

ونظراً لأن درجة حرارة البخار الناتج تكون منخفضة نسبياً في حدود ٢٦٠°م فان ذلك يستلزم تصميماً خاصاً للتوربين بحيث يكون أكبر حجماً وأقل كفاءة من التوربينات المستخدمة في المحطات التقليدية.

ويحتوي قلب المفاعل على وقود من اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة وتبلغ نسبة الاثراء في المتوسط بين ٢و٣٪ لليورانيوم ٢٣٥، وتصنع قضبان الوقود من أقراص مصنوعة من مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم يو أ٢ مغلفة بسبيكة الزركاللوي ٤ الذي حل محل الصلب الغير قابل للصدأ الذي كان مستخدماً كمادة تغليف في التصميات الأولى. وقد بلغ تصميم أعمدة الوقود درجة كبيرة من الاعتمادية بحيث أصبحت العيوب التي قد توجد في الوقود لا تؤدي الى أية مستويات اشعاعية ملموسة حيث ان الدائرة الابتدائية كلها محتواه، ومحاطة بالدروع الواقعية. وقد بلغ متوسط احتراق عناصر الوقود قدراً كبيراً من الارتفاع، ويزيد معدل الاحتراق في كثير من المحطات النووية الشغالة عن ٣٠٠٠٠ ميجاوات ـ يوم لكل طن.



شكل (١): مفاعلات الماء العادي المضغوط

ويجري التحكم في فاعلية المفاعل عن طريق أعمدة تحكم ماصة للنيوترونات وكذلك عن طريق مواد كيميائية ماصة للنيوترونات وقابلة للذوبان في المبرد مثل حامض البوريك الذي تتم اذابته بالتركيز المناسب في مبرد المفاعل.

وتتيح أعمدة التحكم اجراء التحكم السريع في الفاعلية وذلك لأغراض وقف تشغيل المفاعل ولمواجهة تغيرات الفاعلية الناتجة عن التغير في درجة حرارة المبرد في اطار نطاق قدرة المحطة. وكذا تغيرات الفاعلية المرتبطة بمعامل القدرة للفاعلية، وكذلك الناتجة من الفراغات التي تنشأ من المبرد. ويتم تغيير تركيز حامض البوريك للتحكم في التغيرات طويلة المدى للفاعلية والتي تنشأ عن استنفاذ الوقود، وتراكم نواتج الانشطار، وتغيير الفاعلية مع درجات الحرارة المختلفة عندما تكون القدرة صفراً، وبسبب نواتج الانشطار متوسطة الأجل مثل الزينون والساماريوم وكذلك استهلاك السموم القابلة للاحتراق، وبسبب كبر المعامل الحراري السالب للمفاعل تكون للمفاعل خصائص ذاتية للامان والاعتمادية.

وعلى وجه العموم فقد تطور نظام التحكم في المفاعلات الى درجة عالية بحيث أصبح ينطوي على عدد من خصائص الأمان التي تتيح الاداء على اعلى مستوى من الامان والاعتمادية بالنسبة لكل المفاعلات الشغالة.

٢ ـ ٣ ـ ١ ـ ٣ الخبرة في التشغيل:

تعتبر مفاعلات الماء العادي المضغوط أكثر النظم تطوراً بين مجموعة الأنواع كاملة الاعتماد والمتاحة حالياً على المستوى التجاري. وأنشئت محطات كبيرة تبلغ صافي قدراتها الكهربائية ٦٠٠، ٩٠٠، ١٢٠٠ ميجاوات، وتم تشغيلها وتصدر الآن بمعرفة عدد من الشركات الصناعية بالولايات المتحدة الأمريكية (وستنجهاوس كومبستشن انجنيرنج، وبابكوك وويلكوكس)، وفي المانيا الغربية (كرافت فيرك يونيون)، وفي فرنسا (فراماتوم) وكذلك من الاتحاد السوفييتي.

وقد بلغ عدد مفاعلات الماء العادي المضغوط (PWR) التي تم تشغيلها حتى مايو ١٩٧٨ ، ٨٠ مفاعلا يبلغ صافي الخرج لقدراتها الكهربائية ٥٠٠٠٠ ميجاوات ويبلغ عدد المفاعلات التي ما زالت في دور التخطيط أو تحت الانشاء ٢٣٨ مفاعلا صافي قدرتها الكهربائية ٢٢٦٠٠٠ ميجاوات. وبذلك يكون عدد المفاعلات من هذا النوع التي تم تشغيلها أو في مرحلة التخطيط أو تحت الانشاء ٣١٨ مفاعلا يصل مجموع صافي قدراتها الكهربائية الى ٢٧٦٠٠٠ ميجاوات تمثل أكثر من ٦٠٪ من القدرات الكهربائية لجميع أنواع المفاعلات الأخرى.

وتعمل حالياً محطات الطاقة النووية التي تستخدم مفاعلات الماء العادي المضغوط في ١٥ دولة كما يجري انشاؤها في ٢٢ دولة أخرى.

وتبين البيانات والأرقام السابقة أن خبرة التشغيل لمفاعلات الماء العادي المضغوط هي بالتأكيد الأكثر وفرة من بين جميع النظم الأخرى المتاحة وان اعتمادية هذا النوع من المحطات تكاد تتساوى مع اعتمادية المحطات التقليدية. كما ان الاداء الحالي للغالبية العظمى من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن يتم بصورة مرضية، وتوضح الخبرة المكتسبة أن معامل التحميل لهذه المحطات يمكن اتخاذه بين ٦٠ - ٧٥٪ في الحسابات الاقتصادية والتخطيط.

وبالرغم من أن هناك بعض التحسينات الطفيفة التي يتم ادخالها على التصميم من الشركات المختلفة فانه لم يتم ادخال أية تغيرات تكنولوجية جوهرية على الأجزاء الرئيسية أو المواد المستخدمة. وقد اقتصر مجال التطوير الأساسي على الزيادة في حجم صافي القدرة الكهربائية للوحدات حيث تم زيادتها من حوالي ٢٠٠ - ٣٠٠ ميجاوات للمحطات التي تم تشغيلها حتى عام ١٩٦٢ ، الى حوالي ١٢٠٠ ميجاوات للمحطات التي تعمل حالياً.

وقد بلغت الطاقة المولدة من محطات مفاعلات الماء المضغوط حتى عام ١٩٧٨ أكثر من ١٠٠ بليون ك. و. س من الطاقة الكهربائية مما يعطي برهاناً

اضافياً على مدى اعتماد وصلاحية هذا النوع من نظم المفاعلات.

٢ ـ ٣ ـ ٢ مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR)

٢ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ التطور التاريخي:

تم تطوير نظام مفاعلات الماء العادي المغلي بدافع الرغبة في خفض التكاليف عن طريق الاستغناء عن المبادلات الحرارية المستخدمة في تصميم مفاعل الماء العادي المضغوط، وكذلك لتلافي الصعوبات التقنية التي ينطوي عليها تصميم وتشغيل المبادلات الحرارية.

وقد أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية بحوث نظرية مكثفة على ظاهرة الغليان في التجارب الشهيرة المعروفة باسم (BORAX—) التي دعمت التنبؤ بانه يمكن تصميم هذا النوع من المفاعلات بأمان واستقرار، وقد أدى ذلك الى قيام شركة جنرال اليكتريك الأمريكية بتطوير وانشاء محطة «فالسيتوس» لاختبار مفاعلات الماء المغلي في عام ١٩٥٧ بقدرة كهربائية صافي خرجها ٥ ميجاوات، ثم أعقبها انشاء محطة «درسدن ـ ١» التي بدأ تشغيلها على المستوى التجاري في عام ١٩٦٠ بقدرة كهربائية ١٨٠ ميجاوات، ورغم تبني تصميم مفاعلات الماء المغلي على نطاق محدود في كل من الاتحاد السوفييتي وشركة (AEG) بالمانيا الغربية، الا أن تطويرها لم يستمر، ولم يعرض أي من الاتحاد السوفييتي أو المانيا الغربية محطات مفاعل الماء العادي المغلي للتصدير الى الخارج. وبذلك تبقى شركة جنرال اليكتريك الأمريكية المنتج والمورد الوحيد على النطاق العالمي لمفاعلات الماء العادي المغلي. وقد تم تصدير محطات مفاعلات الماء العادي المغلي الى كل من اليابان والهند وايطاليا.

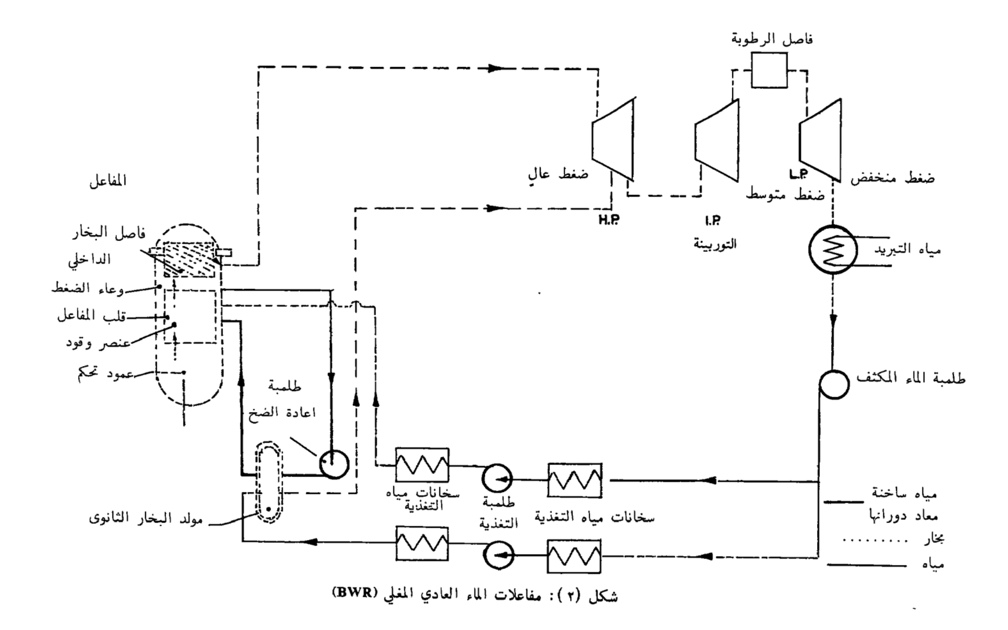
٢ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٢ الوصف وسمات التصميم الرئيسية:

يتشابه نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع

نظام مفاعل الماء العادي المغلي ذو الدورة المباشرة بصفة أساسية مع نظام مفاعل الماء العادي المضغوط ولكنه يختلف عنه في ناحية واحدة هامة هي سريان البخار من وعاء الضغط للمفاعل الى التوربين مباشرة بدون وجود مبادل حراري بينهما ويبين الشكل رقم (٢) تمثيلا تخطيطياً لهذا النظام من المفاعلات. ونظراً لأن هذا النوع من المفاعلات يسمح فيه بحدوث الغليان فان ضغط التشغيل داخل وعاء الضغط يكون أقل كثيراً من النظام السابق لمفاعلات الماء العادي المضغوط، ويكون في حدود ٧٠ كجم/سم٢. وتؤدي هذه السمة من سمات هذا التصميم الى السماح بتصميم أوعية للضغط والدوائر المتصلة بها تكون أخف وزناً كما أنها تخفض درجة حرارة أغلفة الوقود ومستويات الاجهاد.

ونظراً لعدم وجود مبادلات حرارية وعدم الحاجة الى مضخات لضخ المياه في المحطات صغيرة القدرة والاقتصار على استعمال مضخات أصغر في المحطات الكبيرة الحجم فان نظام مفاعل الماء العادي المغلي يكون أخف وزناً من نظام مفاعل الماء العادي المضغوط لنفس القدرة.

وتتشابه حالة البخار الداخل الى التوربين من حيث الضغط ودرجة الحرارة ودرجة الجفاف مع حالته في نظام مفاعل الماء العادي المضغوط، ولذلك فان التوربين يتطلب كذلك تصميماً خاصاً، الا أن الكفاءة الحرارية لنظام مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR) تكون أكبر منها في نظام مفاعل الماء العادي المضغوط (PWR) نظراً لأن البخار يمر مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين دون أن يفقد جزءاً من طاقته في المبادل الحراري. ومن الاختلافات الجوهرية التي ترتبت على مرور البخار مباشرة من وعاء الضغط الى التوربين هي أن البخار يحمل معه بعض النشاط الاشعاعي. وينتج هذا النشاط الاشعاعي بصفة أساسية من عنصر النيتروجين ١٦، وهو نظير مشع قصير العمر جداً تبلغ فترة نصف عمره ٧ ثوان. ولذلك فان النشاط الاشعاعي في دائرة



شكل (٢): مفاعلات الماء العادي المغلي (BWR)

البخار لا يوجد الا أثناء التشغيل فقط ، وقد برهنت خبرة التشغيل انه يمكن اجراء أعمال الصيانة على المياه المكثفة من توربين مفاعل الماء العادي المغلي وأجزاء مياه التغذية ، بعد ايقاف المفاعل دون تعرض كبير للاشعاع ، ولكن هذه الناحية ما زالت تؤخذ وتُقيَّم ضد صالح نظام مفاعل الماء العادي المغلي رغم أن الخبرة الطويلة في تشغيل محطات تستخدم مفاعلات الماء العادي المغلي لم تظهر أن ذلك يشكل عيباً خطيراً الا في حالات خاصة عندما تكون هناك وحدة لازالة الملوحة ملحقة بالمحطة النووية ، وبطبيعة الحال ستتكون بعض الرواسب من المواد المشعة في التوربين مما يجعل أعمال الصيانة والترميم لها أكثر صعوبة . وتزداد تلك الصعوبات في حالة حدوث أعطال في أعمدة الوقود تؤدي الى تسرب نواتج الانشطار المشعة الى المبرد .

ومن سمات التصميم الهامة لنظام مفاعل الماء العادي المغلي التي أدخلت في جميع التصميمات للمحطات النووية هي استخدام «وعاء اخماد الضغط » بدلا من وعاء الاحتواء التقليدي . وفي هذا التصميم إما ان يحاط المفاعل بخزانات كبيرة للمياه أو أن يتم تحويل النواتج من خلال قنوات خاصة في حالة وقوع « حادثة فقد مياه التبريد « LOCA » الى خزانات في أسفل المفاعل . وتقوم المياه في هذه الخزانات بامتصاص الطاقة المتولدة في حالة وقوع مثل هذه الحادثة . ويؤدي ذلك الى استخدام وعاء أخف كثيراً في وزنه ، بحيث يكفي فقط لمقاومة تأثير موجة الصدمة الأولى . وتستخدم جميع تصميمات مفاعلات الماء العادي المغلي هذا التصميم الحديث لنظام أوعية الاحتواء والمعروف باسم « مارك ـ ٣ » (Mark-III) ـ ورغم أن هذا التصميم قد أقرته هيئة التنظيمات النووية الأمريكية (US NRC) وأصبح مقبولا ومستخدماً في جميع المحطات التي يجري انشاؤها على النطاق العالمي ، الا ان الخبرة الواسعة والكافية لتقييم أدائه من ناحية الأمان والاعتمادية لا زالت غير متوفرة .

ويستخدم في قلب المفاعل وقود من اليورانيوم المثرى بنسبة

صغير تبلغ قيمتها المتوسطة في الشحنة الأولى لقلب المفاعل بين ١ر٦ و٢ر٣٪ بـــالوزن من اليورانيوم ٢٣٥ . أمـــا الوقود المستخـــدم بعد الشحنة الأولى فتكون نسبة اثرائه أعلى قليلا من ذلك حيث تبلـــغ في المتوسط من ٢ر٤ الى ٢ر٨٪ بـــالوزن من اليورانيوم ٢٣٥ . وتوجد داخل وعاء الضغط مجموعات الوقود وقضبان التحكم التي يتم تبريدها بواسطة المياه التي تضخ في دائرة التبريد الرئيسية ، وتصنع قضبان الوقود من أقراص مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم (يو أ٢) المغلف في أنابيب من سبيكة الزركاللوي ٢ » . ويكون متوسط احتراق عناصر الوقود كبيراً حيث يتجاوز خرج الحريق ٣٠٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن الواحد في بعض المحطات التي تم تشغيلها .

وتصنع قضبان التحكم من «كربيد البورون » (B_4C) المعبأ في أنابيب من الصلب الغير قابل للصدأ ، ويتم تحريكها الى أعلى أو الى أسفل في قلب المفاعل بواسطة مجموعات هيدروليكية تدفع من أسفل وعاء الضغط وتسمح اما بالحركة المحورية لتنظيم الفاعلية أو بالادخال السريع للايقاف التام للمفاعل . كما تؤدي قضبان التحكم أيضاً وظيفة توزيع القدرة في قلب المفاعل بالمناورة بمجموعة مختارة من تلك القضبان داخل قلب المفاعل . وهناك وسيلة اضافية للتحكم باستخدام قضبان تحتوي على مواد يطلق عليها « سموم محترقة » مثل مادة ثالث أكسيد الجادولينيوم «Gd_2O_3» مخلوطة مع مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) توضع في عديد من أعمدة الوقود بكل حزمة من حزم الوقود . ومن السمات الهامة في تصميم مفاعل الماء العادي المغلي وجود مُعامِل سالب للتحكم في الفاعلية يعرف «بمُعامِل الفقاعات » نتيجة للغليان الداخلي الى جانب معامل فاعلية درجة الحرارة السالب . وهذا يعطي للمفاعل القدرة على متابعة تغيير الاحمال الكهربائية بسرعة كبيرة . وبصفة عامة فقد أظهر اداء نظم التحكم في محطات مفاعلات الماء العادي المغلي التي تم تشغيلها سجلا

من الأمان والاعتمادية، رغم وجود بعض الصعوبات الطفيفة التي نشأت عن وسائل تحريك قضبان التحكم والشروخ في بعض الأجزاء للتصميمات القديمة.

٢ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٣ الخبرة في التشغيل:

يعتبر نظام مفاعلات الماء العادي المغلي أحد النظم التي تم تطويرها على نطاق واسع وهناك العديد من المحطات الكبيرة التي يصل صافي قدرتها الكهربائية الى ١٢٠٠ ميجاوات والتي تم انشاؤها وتعمل في عديد من الدول المتقدمة صناعياً وفي بعض الدول النامية. وتعتبر شركة جنرال اليكتريك الأمريكية المصمم والمورد الرئيسي لهذا النظام من المفاعلات. وعلى الرغم من تصميم وانشاء نظام مفاعلات الماء العادي المغلي في الاتحاد السوفييتي وفي المانيا الغربية بواسطة شركة(AEG) الا انه ليس من بين الأنواع التي يعرضها الاتحاد السوفييتي للتصدير الى الدول الأخري ولا المتاحة من المانيا الغربية على المستوى التجاري. والاتجاه السائد في السنوات الأخيرة هو ميل الشركات الأمريكية المنتجة الى تفضيل نظام مفاعلات الماء العادي المضغوط حيث توجد حالياً ثلاث شركات كبيرة تقوم بانشاء وعرض توريد محطات مفاعلات الماء العادي المضغوط.

كما ان شركة «فراماتوم» الفرنسية وشركة «كرافت فيرك يونيون» الالمانية اختارت أيضاً تفضيل نظام مفاعل الماء العادي المضغوط على نظام مفاعل الماء العادي المغلي للبرامج النووية المستقبلة في كل من فرنسا والمانيا الغربية . ويبلغ عدد مفاعلات الماء العادي المغلي التي تم تشغيلها، حتى مايو سنة ١٩٧٨، ٥٩ مفاعلا يبلغ مجموع صافي قدراتها الكهربائية حوالي ٣٢٠٠٠ ميجاوات، تمثل حوالي ٦٠٪ من القدرة الكهربائية المنتجة من محطات مفاعلات الماء العادي المضغوط الشغالة وحوالي ٣٠٪ من صافي القدرة الكهربائية المنتجة من جميع المحطات النووية الشغالة بكافة أنواعها.

وعدد المحطات الجاري انشاؤها أو المخطط لها أقل كثيراً اذ ٦٧ مفاعلا

فقط يبلغ صافي قدرتها الكهربائية ٦٩٠٠٠ ميجاوات تمثل أقل من ٣٠٪ من محطات مفاعلات الماء العادي المضغوط التي يجري انشاؤها أو المخطط لها ونسبة ٢٠٪ من صافي مجموع القدرة الكهربائية للمحطات تحت الانشاء أو التي في مرحلة التخطيط من كافة الأنواع ، وتوضح الأرقام السابقة ان خبرة التشغيل لمحطات مفاعلات الماء العادي المغلي كبيرة وان اداءها مرضي ، كما انه يمكن اتخاذ معامل التحميل لتلك المحطات من ٧٠ الى ٧٥٪ لأغراض التخطيط والاعتبارات الاقتصادية.

وقد أوضحت المقارنات الفنية والاقتصادية أن الفروق بين نظامي مفاعلات الماء العادي المضغوط ومفاعلات الماء العادي المغلي هي فروق طفيفة وان المفاضلة بينهما كانت دائماً تعتمد على نتائج الدراسات التفصيلية وعلى العوامل الخاصة ووفقاً للظروف السائدة في كل حالة على حدة.

٢ - ٣ - ٣ المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت (GCR)

٢ - ٣ - ٣ - ١ التطور التاريخي:

تم تطوير المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت والمعروفة باسم مفاعلات ماجنوكس « Magnox » في كل من المملكة المتحدة وفرنسا كجزء من برامجها العسكرية لانتاج البلوتونيوم.

ويفضل اختيار التبريد بالغاز بدلا من الماء العادي لانه أكثر أماناً ولا يحتاج الى الضغوط العالية جداً اللازمة في أنظمة مفاعلات الماء العادي. كما ان استخدام الجرافيت كمهدىء يسمح باستخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود ، ويحقق ذلك عدة مزايا لدورة الوقود أهمها انها أكثر تبسيطاً وملائمة لانتاج البلوتونيوم بالخواص ومستويات النقاوة المطلوبة للأسلحة النووية.

وقد تم التشغيل الكامل لأول محطة كنموذج أولي لانتاج الطاقة من هذا النوع للمفاعلات وهي المعروفة باسم « كالدرهول » في انجلترا خلال الفترة من

عام ١٩٥٦ ـ ١٩٥٨ وتضم هذه المحطة أربع وحدات من المفاعلات قدرة كل منها ٣٨ ميجاوات كما تم في فرنسا تشغيل أول محطة كنموذج اولي وهي محطة (EDF-1) بمدينة « شينون » في عام ١٩٥٩ وتضم مفاعلين صافي القدرة الكهربائية لكل منهما ٣٩ ميجاوات . وقد أعقب ذلك تطوير سلسلة كبيرة من محطات الطاقة على المستوى التجاري في كل من انجلترا وفرنسا بقدرات أكبر كثيراً من مفاعلات الماء العادي التي أنشئت في أوائل الستينات . وقد صدرت المملكة المتحدة ثلاث محطات للطاقة من نوع المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت الأولى منها لليابان وتعرف باسم « توكاي ميورا » بدأ تشغيلها في عام ١٩٥٦ بقدرة ١٨٠ ميجاوات ، والثانية لايطاليا وتعرف باسم «لاتينا » وبدأ تشغيلها عام ١٩٦٢ بقدرة قيمتها ٢٠٠ ميجاوات ، والثالثة لاسبانيا وتعرف باسم « فانديلوس » وقد بدأ تشغيلها عام ١٩٧٢ بقدرة قيمتها ٤٨٠ ميجاوات . وعلى الرغم من التطور الكبير لهذا النظام من المفاعلات خلال المراحل الأولى من تاريخ تطور الطاقة النووية ، وضخامة حجم البرامج التي تحققت في البداية بانشاء عدد كبير من تلك المحطات على المستوى التجاري ، الا ان تطويره قد توقف في كل من انجلترا وفرنسا لاعتبارات فنية واقتصادية . وبذلك صرف النظر عن انشاء هذا النوع من المفاعلات ولم يعد متاحاً للتصدير على النطاق التجاري .

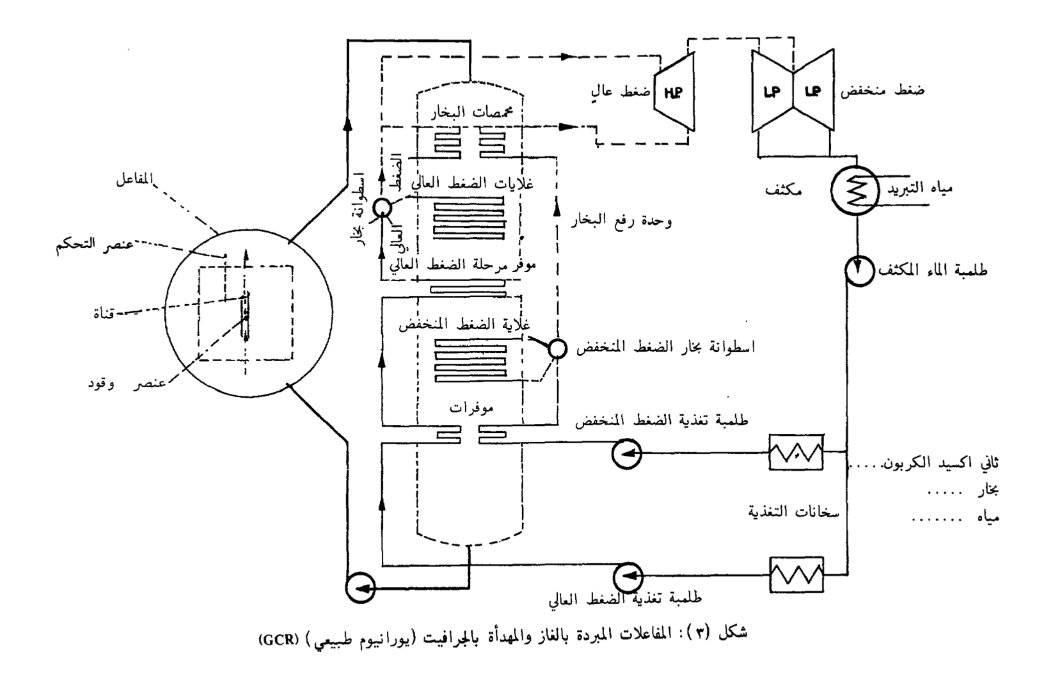
٢ ـ ٣ ـ ٣ ـ ٢ الوصف وسمات التصميم الرئيسية :

يستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد في معظم المفاعلات المبردة غازياً والذي يتميز بخواصه الحرارية الجيدة ورخص ثمنه نسبياً . ورغم انه يمكن استخدام أنواع أخرى من الغازات للتبريد مثل الهليوم أو الايدروجين فان الهليوم رغم انه يعتبر مثالياً من جميع النواحي الا انه باهظ الثمن ، أما الايدروجين فرغم تميزه بخواص حرارية ممتازة الا أن استخدامه يمثل خطورة

كبيرة نظراً لقابليته للاشتعال. وبمرور غاز ثاني أكسيد الكربون داخل قلب المفاعل تنتقل حرارته الى المبادلات الحرارية حيث يتم توليد البخار الذي يغذي مجموعة التوربين والمولد الكهربائي لتوليد الكهرباء بالطريقة التقليدية المعتادة، ويوضح الشكل رقم (٣) تمثيلا تخطيطياً لدائرة نموذجية لهذا النظام من المفاعلات.

نظراً لارتفاع درجة حرارة الغاز الناتجة فان البخار المولد يكون محمصاً ويمكن ذلك من تشغيل التوربينات بكفاءة أكبر، ويتم تلافي التصميم الناجمة عن استخدام البخار الرطب المستخدم في أنظمة مفاعلات الماء العادي. كما انه يمكن تصميم المفاعل ليزود بالوقود أثناء التشغيل وذلك نظراً لأن هذا النظام يعمل عند ضغوط تقل كثيراً عنها في مفاعلات الماء العادي، فانه في مفاعلات الماء العادي المضغوط أو المغلي التي تستخدم وعاء الضغط، يلزم الايقاف التام للمفاعل لفترة من الزمن وفك بعض أجزاء وعاء الضغط لاجراء عمليات تغيير الوقود. ولذلك فان المفاعلات المبردة غازياً تتميز بنسبة اعلى لاتاحة المحطة في المتوسط. هذا بالاضافة الى أن المفاعلات المبردة بالغاز لا تحتاج الى وعاء احتواء خارجي ضخم، بخلاف الاحتواء الطبيعي الذي تعطيه الدروع البيولوجية الواقية ودائرة الضغط، وذلك نظراً لانخفاض ضغط التشغيل وانخفاض معدل القدرة (ميجاوات لكل لتر) عنها في معظم أنظمة المفاعلات الأخرى.

ويمثل استخدام الجرافيت كمهدىء احد المزايا الرئيسية لنظم المفاعلات المبردة غازياً اذ انه يتيح استخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود للمفاعل دون الحاجة الى عملية الاثراء مما يسهل شراء الوقود من السوق المفتوحة، وتفادي القيود السياسية والاحتكارات للحصول على الوقود المثرى والخدمات المتصلة بدورة الوقود. ولكن نظراً لانخفاض كفاءة الجرافيت كمهدىء اذا ما قورن بالماء، فان الحد الأدنى للمادة الانشطارية للوصول الى الحالة الحرجة بقلب



شكل (٣): المفاعلات المبردة بالغاز والمهدأة بالجرافيت (يورانيوم طبيعي) (GCR)

المفاعل يتطلب أحجاماً كبيرة من المفاعلات ، ولهذه الاعتبارات فان هذا النظام يكون ثقيل الوزن وكبير الحجم جداً ويتطلب أن تكون أساسات المباني والمنشآت أكثر متانة من التي تبنى للأنواع الأخرى من أنظمة المفاعلات ويستلزم ذلك أن تتم عمليات الانشاء للدائرة الابتدائية في موقع المحطة مما يتطلب توفير عدد كبير من عمال التركيب المهرة واقامة ورش خاصة مناسبة ومجهزة بالمعدات الثقيلة بالموقع. ونظراً لثقل وضخامة حجم المفاعلات المبردة غازياً فان قدرة التحمل اللازمة للتربة التي تقام عليها المنشآت تصل الى ٣ر٥ كجم/سم٢ ، بينما تبلغ قدرة احتمال التربة اللازمة في حالة انشاء مفاعلات الماء العادي حوالي ٢ كجم/ سم٢ فقط.

ونتيجة لكل السمات التصميمية سالفة الذكر ، يتطلب انشاء نظام المفاعلات المبردة غازياً مجموعات كبيرة من الأفراد للانشاء كما تستغرق عمليات الانشاء مدداً أطول مما يترتب عليه ارتفاع كبير في تكلفة الانشاء كما ترتفع سعر الوحدة المركبة (لكل كيلوات) ارتفاعاً سريعاً مع انخفاض القدرة الكهربائية للمحطة وذلك نظراً لضخامة حجم المفاعلات حتى عند القدرات الصغيرة نتيجة للقيود التي تفرض على التصميم. ويتكون قلب المفاعل من قوالب من الجرافيت توضع بداخلها وحدات الوقود وقضبان التحكم. وتتكون وحدات الوقود من قضبان للوقود مصنوعة من اليورانيوم الطبيعي على شكل معدن اليورانيوم النقي أو في صورة سبيكة مخففة من هذا المعدن ، وذلك بسبب عدم امكان استخدام وقود في صورة الأكسيد أو الكربيد لليورانيوم. ونتيجة لانخفاض كفاءة الجرافيت كمهدىء فان المسافات الفاصلة بين قنوات الوقود تكون كبيرة (حوالي ٢٠ سم) مما يسبب كبر حجم المفاعل كما سبق ذكره. ويستخدم في تغليف الوقود سبيكة من «المغنسيوم» معروفة باسم «ماجنوكس» وهو الاسم الذي يطلق عادة على هذا النوع من المفاعلات وقد نجح استخدام أسلوب تغيير الوقود أثناء التشغيل في جميع المحطات التي تم

تشغيلها مما أدى الى زيادة نسبة الاتاحة لتلك المحطات على الشبكة الى أكثر من ٩٠٪ أما درجة احتراق الوقود فانها تقل كثيراً عن درجة الاحتراق في مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى، اذ بلغ معدل خرج الاحتراق للوقود المستنفذ من بعض المحطات التي تم تشغيلها في حدود ٣٠٠٠ ـ ٤٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن فقط.

ويمثل تسرب ثاني أكسيد الكربون أحد مشاكل التشغيل في تصميم هذا النوع من المفاعلات الغازية والذي يمكن أن يصل الى مستويات مرتفعة ويؤدي الى زيادة كبيرة في تكاليف التشغيل. الا أن هذا التسرب مع ذلك لا يمثل أية خطورة جوهرية على الصحة.

ومن التغييرات الهامة التي أدخلت على تكنولوجيا هذا النوع من المفاعلات الغازية هي تطوير أنواع أوعية الضغط المصنوعة من الخرسانة سابقة الاجهاد، والتي تتميز بالجمع بين تأدية وظائف الدرع البيولوجي الواقي، ووعاء الضغط، والاحتواء. ويؤدي تطبيق هذا النظام من أوعية الضغط الى توفير كبير في كميات اللحامات المطلوبة بالموقع كما انه يمثل زيادة كبيرة في درجة الأمان للمفاعل.

٢ ـ ٣ ـ ٣ ـ ٣ الخبرة في التشغيل:

تستند مفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبرد بالغاز والمهدأة بالجرافيت على خلفية من الخبرة الواسعة في التشغيل بكل من المملكة المتحدة، وفرنسا، وذلك بالاضافة الى المحطات الأخرى العاملة في ايطاليا واليابان واسبانيا. ويبلغ عدد المفاعلات الشغالة حتى مايو ١٩٧٨، ٣٦ مفاعلا يصل مجموع صافي قدراتها الكهربائية الى ٧٠٨٦ ميجاوات تمثل حوالي ٧٪ من مجموع صافي القدرات الكهربائية للمحطات النووية التي تعمل من جميع أنواع المفاعلات. ونتيجة لتطبيق أسلوب تغيير الوقود أثناء تشغيل المحطة فان نسبة الاتاحة على

الشبكة تكون عالية وتصل الى أكثر من ٩٠٪ وخلال الشتاء القاسي الذي ساد انجلترا عام ١٩٦٢/١٩٦٣ تم تشغيل الأربعة مفاعلات في محطتي الطاقة النووية في « برادويل » « وبيركلي » بكامل طاقتها وبصورة مستمرة وبمعامل اتاحة وصل الى أكثر من ٩٥٪ ، كما ان مفاعلات « كالدرهول » المصممة كنموذج أولي كانت تعمل بمعامل اتاحة أكبر من ٩٠٪ . ولا يوجد حالياً مفاعلات غازية من هذا النوع تحت الانشاء أو يجري التخطيط لانشائها ، كما انها لم تعد متاحة على النطاق التجاري ، ومع ذلك فانه نظراً للخبرة السابقة للتشغيل والاداء لهذا النظام من المفاعلات فانه ما زالت تعتبر ضمن مجموعة الأنواع التي ثبتت صلاحيتها كاملة .

٢ ـ ٣ ـ ٤ مفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR) :

٢ ـ ٣ ـ ٤ ـ ١ التطور التاريخي :

كان استخدام الماء الثقيل كمهدئ بدلا من الجرافيت لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي موضع مناقشات واسعة ومستفيضة خلال المرحلة الأولى من تطوير المفاعلات النووية للاستخدامات العسكرية ، فقد كان معروفاً ان الماء الثقيل أفضل من الجرافيت كمهدئ ، ولكن رخص ثمن الجرافيت وسهولة تداوله أدت الى اختياره للاستخدام في المفاعلات العسكرية الأولى لانتاج البلوتونيوم .

وقد ترتب على ذلك بعض التأخير في تطوير المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل لانتاج الطاقة ، ولم يبدأ الا في عام ١٩٦٢ في كندا بتشغيل نموذج أولي للمحطة النووية الأولى من هذا النوع (NPD) كمحطة اختبار تجريبية بقدرة ٢٠ ميجاوات . وقد استخدم في التصميم الكندي لهذا المفاعل الماء الثقيل كمهدئ ومبرد في دائرتين منفصلتين تسمح ببقاء المهدىء بارداً وغير مضغوط بينما يدفع سائل التبريد للمرور في أنابيب ضغط تمر داخل وعاء المهدئ . وقد طور هذا النظام أيضاً في السويد وفي المانيا الغربية ، وبدأ تشغيل أول مفاعل سويدي عام

١٩٦٣ بقدرة ١٠ ميجاوات كما بدأ النموذج الأولي المعروف باسم MZFR في العمل بمدينة كارلسرو بالمانيا الغربية عام ١٩٦٦ وبلغ صافي قدرته المنتجة ٥٢ ميجاوات . وكان التصميم الالماني مماثلا بصفة أساسية للتصميم الكندي ، أما التصميم السويدي فيختلف في ناحية هامة اذ استخدم الماء الثقيل المهدأ والمبرد في وعاء ضغط كما في مفاعلات الماء العادي المغلي تماماً .

وقد تم تطوير هذا النظام من المفاعلات لمحطات الطاقة على المستوى التجاري بصفة أساسية في كندا باقامة وتشغيل عدد من محطات توليد الطاقة ، أطلق عليها اسم « كاندو » (CANDU) للبرنامج النووي الكندي ، بينما لم يصنع سوى مفاعل واحد بالمانيا الغربية من نوع الماء الثقيل ، وقد صدرته شركة « كرافت ورك يونيون » الى الارجنتين ومعروف باسم أتوشا ، وتم تشغيله في عام ١٩٧٤ بقدرة مقدارها ٣٤٥ ميجاوات ، ويعتبر امتداداً لتصميم النموذج الأولى للمفاعل MZFR الذي أنشيء في المانيا بقدرة ٥٠ ميجاوات . ولا يجري حالياً أي تطوير آخر لهذا النوع سواء لبرنامج الطاقة الالماني ذاته أو للتصدير . وكذلك أوقفت السويد تطوير هذا النظام من المفاعلات بعد تشغيل المحطة الأولى . وقد قامت الهند ، بعد أن استوردت مفاعلين من « طراز كاندو » قدرة كل منهما ٢٠٠ ميجاوات بتطوير برنامجها الذاتي بانشاء مفاعلات القوى من نوع الماء الثقيل .

٢ - ٣ - ٤ - ٢ الوصف والسمات الرئيسية للتصميم :

تتكون مفاعلات الماء الثقيل المضغوط من مجموعة من أنابيب الضغط على شكل يسمى « كالندريا » ، حيث يمر بها الماء الثقيل خلال قلب المفاعل في دائرة ابتدائية مغلقة ، ويتولد البخار في الدائرة الثانوية خلال مبادل حراري ، ويستعمل في ادارة وحدة التوربين والمولد لتوليد الكهرباء . ويبين الشكل (٤) رسماً تخطيطياً لدائرة نموذجية لهذا النوع من المفاعلات . ويتميز

تصميم هذه المفاعلات باستخدام وقود أمن اليورانيوم الطبيعي في صورة الأكسيد . وتعتبر هذه السمة من المميزات الهامة حيث أن الأكسيد أكثر استقراراً ويتحمل درجات حرارة أكثر ارتفاعاً ، بالمقارنة مع فلز اليورانيوم ، الذي يلزم استخدامه في المفاعلات المبردة غازيا والمهدأة بالجرافيت . وهذا بالاضافة الى قدرة الوقود على الوصول الى معدلات احتراق أكبر وبالتالي تكاليف أقل لدورة الوقود . ويبلغ متوسط معدلات الاحتراق للوقود بالمحطات الشغالة التي تستخدم مفاعلات الماء الثقيل حوالي ٩٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن وذلك بالمقارنة مع ٣٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن فقط لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي المبردة غازياً .

ويتميز هذا النظام بصغر الحجم وارتفاع المعدل الحراري عن نظام المفاعلات المبردة غازياً ، ويمكن أيضاً انشاؤها بقدرات أصغر . ويسمح التصميم أيضاً بتغيير الوقود أثناء التشغيل بما يمكن تشغيل المفاعل بصورة مستمرة ويحقق اتاحة أكبر للمحطة حتى في حالة حدوث عطب بالوقود . وحيث ان هذا النظام يعمل عند ضغوط مرتفعة ومعدل قدرات كبيرة فان المفاعل يحتاج لوعاء احتواء . ويتطلب تصميم وعاء الضغط وشبكة انابيب الضغط للمبرد استعمال مواد خاصة بدرجة عالية من الجودة ، وعمال لهم مهارات فائقة في الانشاء وتشغيل الآلات . وتتطلب دوائر الماء الثقيل تصميماً خاصاً للمضخات والصمامات والموصلات لتقليل تسرب الماء الثقيل من هذا النظام للمفاعلات . ويمكن أن يمثل تسرب الماء الثقيل مشكلة خطيرة ، فبالاضافة الى ارتفاع ثمنه فان الماء الثقيل بعد استخدامه لفترات طويلة يصبح مشبعاً بعنصر التريتيوم وهو عنصر ذو درجة عالية من الاشعاعية وسام جداً .

وهناك سمة أخرى لتصميم نظام مفاعلات الماء الثقيل وهي ، كما هو الحال في نظم مفاعلات الماء العادي المضغوط ، انتاج البخار عند درجات حرارة منخفضة مما يتطلب تصميماً خاصاً للتوربين لتناسب ظروف البخار الرطب ،

وبذلك فانه لا يمكن الحصول على كفاءة حرارية عالية في هذا النظام أيضاً .

٢ - ٣ - ٤ - ٣ الخبرة في التشغيل :

أثبتت الخبرة في تشغيل محطات القوى التي تستخدم مفاعلات الماء الثقيل التي تم تشغيلها في كندا والمانيا الغربية والسويد والأرجنتين وباكستان والهند ، ان هذا النظام هو نظام آمن ويعول عليه ، ولا توجد مشاكل رئيسية في تصميمه أو تشغيله .

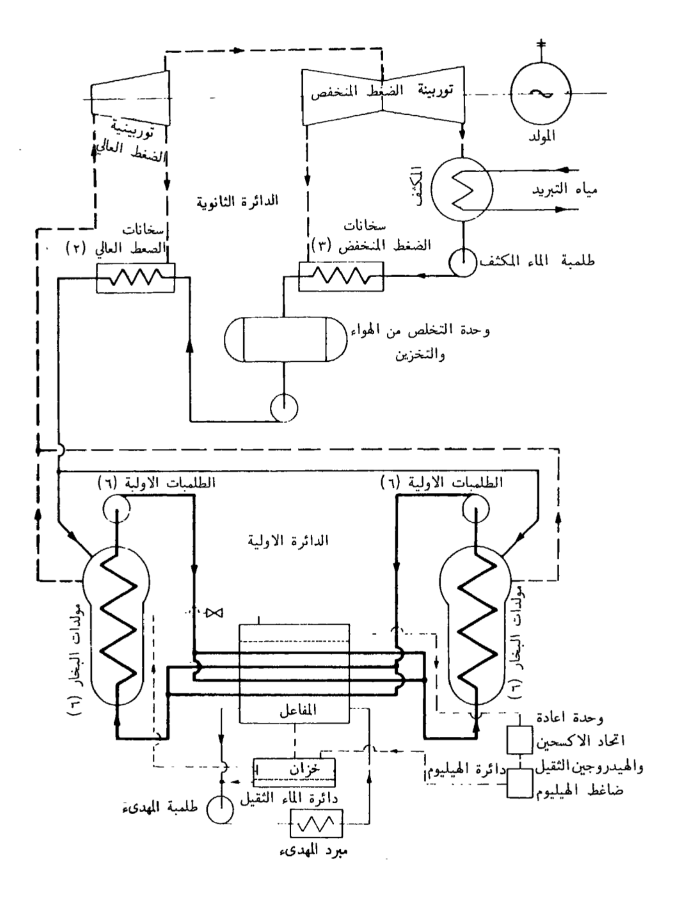
وتبلغ صافي القدرة الكهربائية لمحطات الماء الثقيل الثلاثة عشر التي تم تشغيلها حتى مايو ١٩٧٨ ، ٥٢٣٤ ميجاوات ، هذا بالاضافة الى ٢٢ محطة يجري انشاؤها حالياً تبلغ صافي قدراتها الكهربائية ٢٢٨٠٠ ميجاوات . كما أن هناك محطة أخرى قدرتها ٥٦٠ ميجاوات تم التخطيط لانشائها في الأرجنتين . ومن المقرر ان تبدأ تلك المحطات في التشغيل خلال الفترة من عام ١٩٨٠ - ١٩٨٨ . وباستكمال انشاء تلك المحطات فان مساهمة مفاعلات الماء الثقيل ستصبح حوالي ٤٪ من مجموع القدرة الكهربائية الناتجة من جميع النظم للقوى النووية .

وعلى ضوء الخبرة السابقة لنظام مفاعلات الماء الثقيل فهي تعتبر ضمن مجموعة الأنواع المعتمدة الكاملة الصلاحية ، كما انها من بين النظم الثلاثة المتاحة على النطاق التجاري . وتعتبر شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة المورد الرئيسي لهذا النوع من المحطات ، ولا تقوم المانيا الغربية بعرض محطات الماء الثقيل للتصدير في الوقت الحاضر .

ثانياً نظم ثبتت صلاحيتها جزئياً :

٢ - ٤ - ١ المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز (AGR) :

تم تطوير نظام للمفاعلات الغازية المتقدمة في كل من الولايات المتحدة



شكل (٤): نموذج لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط (PHWR)

الأمريكية وانجلترا. وتم اجراء الأعمال الأساسية والتطوير في انجلترا حيث أن ذلك يعتبر امتداداً طبيعياً لمفاعل «الماجنوكس». وتم بناء أول نموذج تجريبي لهذا النوع من المفاعلات في «وندسكيل» بالقرب من «كولدرهول» وتم تشغيله منذ عام ١٩٦٢ بقدرة كهربائية مقدارها ٣٢ ميجاوات. وان الفرق الأساسي في تصميم هذه المفاعلات الغازية المتقدمة هو استخدام اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة بدلا من اليورانيوم الطبيعي المستخدم في «مفاعلات الماجنوكس» وقد نتج عن هذا التغيير عدة تحسينات في الكفاءة. ويمكن تصنيع وحدات الوقود من أكسيد اليورانيوم بدلا من معدن اليورانيوم، وكذلك اختيار مادة التغليف للوقود بحيث تكون درجة انصهارها أعلى بكثير من درجة انصهار المغنسيوم.

ويستخدم النموذج الاولي من نوع المفاعل الغازي المتقدم والذي تم انشاؤه في «وندسكيل» الوقود المثرى بنسبة ٢٫٥٪ بالوزن من النظير ٢٣٥ لليورانيوم في شكل ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) في أنابيب رقيقة من الصلب الغير قابل للصدأ. وقد تم تشغيله بقدرة تصل الى حوالي أربع مرات أعلى من مفاعلات «الماجنوكس». وينتج هذا المفاعل بخاراً في درجة حرارة ٤٥٥° م بدلا من ٣٩٠° م في مفاعل الماجنوكس، وكذلك فان معدل احتراق الوقود ارتفع من حوالي ٣٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن الى حوالي ١٠٫٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن. وبالاضافة الى ذلك فان تصميم المفاعل الغازي المتقدم له جميع مميزات المفاعلات الغازية وأهمها القدرة على العمل عند درجات حرارة مرتفعة بدون الحاجة الى ضغوط عالية، وبالتالي فانه يمكن توليد البخار المحمص بجودة عالية وبزيادة في الكفاءة الحرارية، ويتميز هذا النظام بصغر الحجم وارتفاع معدل القدرة ومن الممكن بناؤه بتكاليف أقل من مفاعلات «الماجنوكس» ويستخدم المفاعل نظام اعادة التزود بالوقود أثناء التشغيل على الحمل مما يمكن من الكشف على أعمدة الوقود المعطوبة وتغييرها دون

الحاجة الى الايقاف التام للمفاعل. وبذلك تكون درجة الاعتماد على هذا المفاعل أكبر من تلك لمفاعل الماء العادي.

ومن المشاكل الأساسية في تصميم المفاعلات الغازية المتقدمة هو الصدأ الذي يحدث للجرافيت بتأثير غاز ثاني أكسيد الكربون المرتفع الحرارة، وقد يسبب هذا تقصير عمر قلب المفاعل، ومن السمات الأخرى لتصميم هذا المفاعل هي ضرورة استخدام وعاء احتواء خارجي للمفاعل نظراً لمعدل القدرة المرتفع. وتستخدم المفاعلاتالغازية المتقدمة وعاء احتواء من الخرسانة سابقة الاجهاد مثل الذي تم استخدامه في التصميمات الأخيرة لمفاعلات «الماجنوكس».

وقد اقتصر تطوير فكرة المفاعلات الغازية المتقدمة في الولايات المتحدة الأمريكية على اقامة مفاعل غازي تجريبي (EGCR) يشابه لدرجة كبيرة تصميم المفاعلات الغازية المتقدمة ولكنه يستخدم غاز الهيليوم كمبرد مما يؤدي الى تلافي بعض مشاكل الصدأ التي تحدث عند استخدام ثاني أكسيد الكربون كمبرد مع مهدئ من الجرافيت ويستخدم في المفاعل الغازي التجريبي (EGCR) الجرافيت كمهدئ والهيليوم كمبرد واليورانيوم المثرى بنسبة ٢ر٤٦٪ كوقود، وقد تم تشغيله منذ عام ١٩٦٣ بقدرة كهربائية قدرها ٢٢ر٣ ميجاوات، وبلغ معدل احتراق الوقود ٧٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن للشحنة الأولى لقلب المفاعل، و١٠٠٠٠ ميجاوات ـ يوم للطن في الشحنات التالية للوقود. وكانت خبرة التشغيل للنموذج الأولي في مفاعل «وندسكيل» ناجحة لدرجة كبيرة، وبلغت نسبة الاعتمادية للمحطة ٩٥٪. وقد تم بناء محطتين بكل منهما مفاعلان من المفاعلات الغازية المتقدمة وتم تشغيلهما في المملكة المتحدة منذ عام ١٩٧٧ هما محطة «هنكلي بوينت. ب» بقدرة كهربائية قدرها ١٢٣٢ ميجاوات ومحطة «هنترستون ـ ب» بنفس قيمة القدرة الكهربائية.

ويبلغ عدد المحطات الشغالة من هذا النوع بانجلترا خمس محطات قيمة صافي طاقتها الكهربائية ٢٤٩٦ ميجاوات، تمثل نسبة ٢ر٤٪ من مجموع الطاقة

الكهربائية المنتجة من جميع المحطات النووية الشغالة. وتتضمن الخطط المستقبلية في انجلترا انشاء عشر محطات بالحجم الكامل من نوع المفاعلات الغازية المتقدمة منها ست محطات تحت الانشاء وأربعة مخطط لانشائها مجموع صافي قدراتها الكهربائية حوالي ٦١٧٨ ميجاوات تمثل نسبة أقل من ٢٪ من المجموع الكلي. ولا توجد أي خطط أخرى لانشاء محطات من هذا النوع خارج المملكة المتحدة.

وطبقاً للبيانات السابقة فان الخبرة المكتسبة من هذا النظام للمفاعلات ما زالت محدودة، وبالرغم من انه يجري تطويره فانه لا يعتبر من بين الأنواع المعتمدة الكاملة الصلاحية، كما انه ليس متاحاً تجارياً في الوقت الحالي.

٢ - ٤ - ٢ مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز (HTGR):

يعتبر تطوير مفاعلات الحرارة العالية المبردة بالغاز امتداداً لتطوير مفاعلات «الماجنوكس» والمفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز بهدف تحسين التكنولوجيا للمفاعلات الغازية. وقد بدأ تطوير هذا النوع من المفاعلات أولا في الولايات المتحدة الأمريكية التي تم فيها اقامة مفاعل القوى التجريبي المعروف باسم «پيتش بوتوم» في عام ١٩٦٦ بقدرة كهربائية مقدارها ٤٠ ميجاوات، كما تم في المانيا الغربية اقامة مفاعل كنموذج أولي من نفس النوع معروف باسم مفاعل «پيبل بد» بقدرة كهربائية مقدارها ١٣٫٥ ميجاوات، ويستخدم فيه وقود على شكل كرات من الجرافيت ويعمل منذ ١٩٦٦ في مدينة «يوليش». وكان هناك اهتمام بهذا النوع من المفاعلات بالمملكة المتحدة أيضاً، أدى الى اقامة تعاون من خلال وكالة الطاقة الذرية الأوروبية في مشروع تجريبي يعرف باسم مفاعل «دراجون». وما زالت هناك جهود أخرى لتطوير هذا النظام في كل من الولايات المتحدة الأمريكية والمانيا الغربية حيث توجد نماذج أولية لمحطات على المستوى التجاري بقدرات توليد تتراوح

بـين ٣٠٠ و١٠٠٠ ميجـاوات تم تشغيلهـا أو في دور الانشاء أو مرحلـة التخطيط . ومن مميزات التبريد الغازي هي امكانية الوصول الى درجات حرارة عالية جداً دون الحاجة أن يكون تحت ضغوط عالية جداً . وتعتبر هذه السمة أحد الأهداف الأساسية التي يمكن تحقيقها في تصميم المفاعلات الغازية ذات الحرارة العالية والتي تم تطويرها الان لانتاج بخار بمستوى درجات الحرارة المستخدمة في معظم التوربينات البخارية الحديثة ، بلغت ٥٤٠°م بالمقارنة بدرجات حرارة البخار وهي في حدود (٢٥٠°م - ٢٧٠°م) الذي ينتج من مفاعلات الماء العادي أو الماء الثقيل المضغوط . وان الوصول الى مثل هذه الدرجة العالية لظروف البخار المنتج يوجِد عدداً من المشاكل التكنولوجية الصعبة ، أولها وجوب أن يعمل الوقود عند درجات حرارة في حدود ١١٠٠°م وهي حرارة مرتفعة جداً حتى بالنسبة للصلب الغير قابل للصدأ ، ولذلك فانه من الضروري استنباط أشكال خاصة من الجرافيت لوحدات الوقود . وثانياً أن هذا الجرافيت الخاص المستخدم يجب معالجته حتى يكتسب خاصية عدم الانفاذ والقدرة على الاحتفاظ بنواتج الانشطار داخل وحدات الوقود مع استمرار التشغيل عند درجات الحرارة المرتفعة. والوقود المستخدم في هذا النوع من المفاعلات الغازية المرتفعة الحرارة هو اليورانيوم المثرى بنسبة كبيرة تزيد عن ٩٠٪ من اليورانيوم ٢٣٥ ، والثوريوم ٢٣٢ الذي يتحول الى يورانيوم ٢٣٣ . وتتكون الشحنـة الأولى للوقود من اليورانيوم المثرى بنسبـة عـاليـة والثوريوم ٢٣٢ بينما يتم في الشحنات التالية اعادة استخدام اليورانيوم ٢٣٣ المستخلص ليحل محل اليورانيوم المثرى بنسبة كبيرة . ويتكون المهدئ من قطع كبيرة من الجرافيت يوضع بداخلها حبيبات الوقود المغطى بالجرافيت وتبرد باستخدام غاز الهيليوم .

ما زالت خبرة التشغيل لمحطات الطاقة لمفاعلات الحرارة العالية المبردة غازياً محدودة وتقتصر على النماذج الأولية التي تم تشغيلها في المانيا الغربية منذ

عـام ١٩٦٦ بقـدرة ١٣٫٥ ميجـاوات ، وكـذلـك في محطـة « پيتش بوتوم » بالولايات المتحدة الأمريكية التي تبلغ قدرتها الكهربائية ٤٠ ميجاوات . وهناك محطة واحدة بالحجم الكامل بقدرة كهربائية قدرها ٣٣٠ ميجاوات معروفة باسم « فورت سان ڤرين » بدأت التشغيل على المستوى التجاري بالولايات المتحدة خلال عام ١٩٧٨ . وفي المانيا الغربية يجري انشاء محطة من هذا النوع بقدرة كهربائية ٣٠٠ ميجاوات ، الى جانب محطة أخرى بقدرة ١١٥٠ ميجاوات خطط لتنفيذها ومن المتوقع أن تكون تحت الانشاء في بداية الثامنينات ، وينتظر أن يبدأ تشغيلها بحلول عام ١٩٨٨ . وفي الوقت الحالي لا يوجد اهتمام بهذا النوع من المفاعلات في أية دولة أخرى ، ويقتصر تطويرها الآن على المانيا الغربية والاتحاد السوفييتي فقط . وبالتالي فان هذا النوع لنظام المفاعلات ما زال يحتاج الى المزيد من التطوير قبل أن يمكن تصنيفه ضمن مجموعة النظم المعتمدة كاملة التجربة والصلاحية . وبينما يتم التطوير في المانيا الغربية على المستوى التجاري بقدرات من ٣٠٠ الى ١١٥٠ ميجاوات فان تطوير هذا النظام بالولايات المتحدة الأمريكية حالياً أمر غير مؤكد حيث ان شركة « جَلْف جنرال أتوميك » وهي المسؤولة على تطوير هذا النوع من المفاعلات قد ألغت جميع التعاقدات للمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة غازياً منذ عام ١٩٧٥ ، ولم يتم الاعلان عن أي خطط محددة يمكن الاستناد اليها في تقييم مستقبل تطوير هذا النظام من المفاعلات بالولايات المتحدة الأمريكية .

٢ ـ ٤ ـ ٣ مفاعلات الماء العادي والمهدأة بالجرافيت (LWGR) :

بدأ تطوير مفاعلات الماء العادي المهدأة بالجرافيت في الاتحاد السوفييتي بصفة أساسية وبدرجة أقل في الولايات المتحدة الأمريكية . وقد استخدم هذا النوع من المفاعلات في أول محطة نووية تم تشغيلها بالاتحاد السوفييتي في عام ١٩٥٤ ، وتم تشغيل محطات أخرى بالحجم الكامل منذ أوائل الستينيات . كما يوجد بالولايات المتحدة الأمريكية محطة نووية واحدة فقط من هذا النوع من

المفاعلات تعرف باسم « مفاعل هانفورد ـ ن » تم تشغيلها منذ عام ١٩٦٦ لتوليد الطاقة ولانتاج البلوتونيوم بصافي قدرة كهربائية قدرها ٧٨٤ ميجاوات ويستخدم هذا النوع من المفاعلات اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة قدرها ٩٤١ر٠من اليورانيوم ٢٣٥ كوقود ، ويستخدم الجرافيت كمهدئ وعاكس والماء العادي المغلي كمبرد . وبالرغم من نجاح الاداء لهذا النظام من المفاعلات الا انه لا يتم تطويره بالولايات المتحدة حالياً ، كما انه لا يعرض للتصدير على المستوى التجاري بسبب ارتفاع تكاليف الانشاء . وما زال هذا النظام من المفاعلات يجري تطويره في الاتحاد السوفييتي لاستخدامه في المحطات التي تم اقامتها هناك ، ولكنه لا يعرض للتصدير الى الدول الأخرى . وهناك ١٣ مفاعلا من هذا التصميم لمفاعلات الماء العادي المهدأ بالجرافيت تم تشغيلها في الاتحاد السوفييتي حتى مايو ١٩٧٨ بصافي قدرة كهربائية تبلغ ٤٨٨٢ ميجاوات وهناك ثماني محطات أخرى تحت الانشاء بقدرة ٩٠٠٠ ميجاوات وعشر محطات أخرى بصافي قدرة كهربائية تبلغ ١٠٠٠٠ ميجاوات تم التخطيط لانشائها . وبالرغم من هذا التطوير الملموس ، فان هذا النوع من المفاعلات لم يعرض للتصدير في الأسواق العالمية كما انه لا يوجد اهتمام خارج الاتحاد السوفييتي لذلك فان هذا النظام من المفاعلات لا يمكن اعتباره ضمن مجموعة النظم المعتمدة ، كاملة الصلاحية والتجربة .

٢ ـ ٤ ـ ٤ المفاعلات السريعة المتوالدة (FBR) :

اتجه الاهتمام الى تطوير المفاعلات السريعة المتوالدة على نطاق واسع ومكثف في الدول المتقدمة صناعياً منذ المراحل المبكرة لتطوير الطاقة النووية . ولقد كان هناك ادراك عام ان دخول المفاعلات السريعة المتوالدة سيقدم بدون شك خطوة رئيسية في توفير الاحتياجات العالمية من الطاقة ، وذلك لأن كمية الطاقة التي يمكن استخلاصها من موارد اليورانيوم بواسطة المفاعلات السريعة يمكن أن تصل الى أكثر من خمسين ضعفاً من الطاقة التي يمكن

الحصول عليها باستخدام التكنولوجيا الحالية لأنظمة المفاعلات التي تعتمد على الانشطار النووي.

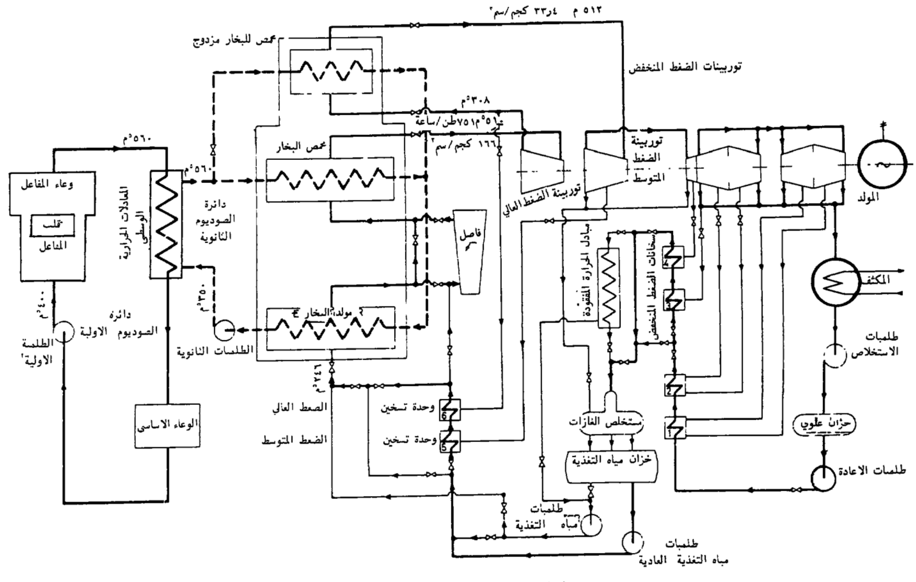
وقد بدأ تنفيذ برامج واسعة للبحوث والتطوير وتمت اقامة المنشآت للنماذج الأولية والتجريبية للمفاعلات السريعة التي تم تشغيلها في كل من انجلترا والولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والمانيا الغربية وفرنسا. وكان أول تلك المنشآت المفاعل المتوالد التجريبي (EBR-1) الذي تم تشغيله في عام ١٩٥١ في ولاية «ايداهو» بالولايات المتحدة الأمريكية، ومفاعل «دونري» التجريبي الذي تم تشغيله في عام ١٩٥٩ بانجلترا وقد أعقب اقامة وتشغيل هذان المفاعلان التجريبيان بناء وتشغيل المفاعل (EBR-2) في عام ١٩٦٣ بقدرة كهربائية ١٦٫٥ ميجاوات، وتبع هذا اقامة محطات تجريبية أخرى جديدة في الولايات المتحدة الأمريكية أدت الى اقامة محطات على المستوى التجاري بعد ذلك، مثل محطة المفاعل التجريبي السريع المتوالد والذي تبلغ قدرته ٤٠٠ ميجاوات حراري وتعرف باسم المحطة التجريبية ذات الفيض النويتروني السريع (FFTF) كماأنشىءالمفاعل السريع المتوالد المبرد بالمعدن السائل ويعرف بـاسم (LMFBR) أساساً لاختبـارات الوقود، وخواص المواد وتكنولوجيـا الصوديوم وكذلك تصميم المفاعلات السريعة، وطبقاً للجدول الزمني سيتم تشغيل هذه المحطة في عام ١٩٨٠. وان المفاعل السريع المتوالد الوحيد الذي بني في الولايات المتحدة هو «مفاعل فيرمي المتوالد» بقدرة خرج كهربائي تبلغ ٢٠٠ ميجاوات الا انه نتيجة لصعوبات فنية مختلفة واجهت المشروع أدت الى انصهار جزئي لقلب المفاعل في عام ١٩٦٦ ولم يتم اعادة استكمال بناء هذا المفاعل نتيجة للمشاكل الاقتصادية وصعوبة الحصول على التراخيص اللازمة. وان التطور في برنامج المفاعلات المتوالدة بالولايات المتحدة الأمريكية في المستقبل امر غير مؤكد حالياً نتيجة لسياسة الطاقة النووية الجديدة التي أعلنت في أبريل عام ١٩٧٧ وبالرغم من ذلك فان عدداً من المشروعات المختلفة قد

بُدِىء في تنفيذها أو تم التخطيط لها مثل مفاعل « كلينش ريفر » السريع المتوالد (CRBR) الذي وضع التوقيت الزمني لتشغيله في عام ١٩٨٣ ، وكذلك نموذج أولي لمفاعل سريع التوالد كبير بالحجم الكامل يرمز له (PLBR) تم التخطيط لتشغيله في عام ١٩٨٨ .

وبصفة أساسية فان المحطات التي تستخدم المفاعلات السريعة المتوالدة تتشابه مع المحطات التي تستخدم نظم المفاعلات الأخرى. فالبخار يتولد في المبادلات الحرارية من خلال الحرارة التي تنقل بواسطة المبرد المعدني السائل الذي يمر بقلب المفاعل. والبخار المحمص المنتج يعمل على تشغيل مجموعة توربين - ومولد لانتاج الكهرباء بالطريقة التقليدية. ويبين الشكل رقم (٥) رسماً تخطيطياً لدائرة نموذجية لمحطة توليد بها مفاعل من النوع السريع المتوالد.

ويعتمد تصميم المفاعلات السريعة المتوالدة أساساً على استمرار التفاعل المتسلسل الناتج من النيوترونات السريعة التي تنطلق في عملية الانشطار لكل من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ . أما فكرة التوالد فتنطوي على انتاج كميات للمواد الانشطارية أكبر من الكمية المستهلكة أثناء التشغيل ، ولتحقيق ذلك تستخدم النيوترونات الزائدة التي تنطلق مصاحبة لعملية الانشطار في تحويل المواد الخصبة (اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢) الى مواد انشطارية في تحويل المواد الخصبة (اليورانيوم ٢٣٨ أو الثوريوم ٢٣٢) الى مواد انشطارية (البلوتونيوم ٢٣٩ أو اليورانيوم ٢٣٣) عن طريق التفاعلات النيوترونية المعروفة.

ويهدف تصميم المفاعلات السريعة المتوالدة الى الوصول للحد الأقصى لمعدل انتاج المواد الانشطارية التي تتفق مع انتاج الطاقة وأمان التشغيل. وبالرغم من أن دورة الثوريوم واليورانيوم ٢٣٣ توفر بعض المزايا من ناحية الكفاءة النيوترونية ووفرة وجود الثوريوم وان اليورانيوم ٢٣٣ أقل خطورة على الصحة من البلوتونيوم ٢٣٩ ، وان فصل اليورانيوم ٢٣٣ من الثوريوم أسهل



شكل (٥): نموذج للمفاعلات المربعة المتوالدة

من فصل البلوتونيوم من اليورانيوم ، الا أن جميع المفاعلات السريعة التي تم انشاؤها حتى الان تستخدم دورة البلوتونيوم للوقود . وتستخدم المفاعلات السريعة اليورانيوم أو البلوتونيوم المثرى بنسبة كبيرة تتوقف قيمتها على متغيرات التصميم وتتراوح بين ٢٥٪ و٩٠٪ من اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ . ونظراً لعدم الحاجة الى مهدئ في المفاعلات السريعة فان ذلك يضع قيداً على اختيار المبرد المستخدم ، ويستلزم ذلك استخدام الغازات مثل الهيليوم أو المعادن السائلة مثل الصوديوم أو البوتاسيوم.

وفي الوقت الحالي فان تطوير تكنولوجيا المفاعلات السريعة المتوالدة يعتمد على تصميم المفاعلات المبردة بمعدن الصوديوم السائل الذي يستخدم الآن في الغالبية من النماذج الأولية للمفاعلات السريعة المتوالدة سواء التي تم تشغيلها أو التي يجري انشاؤها .ومعدن الصوديوم السائل له درجة غليان أعلى بكثير من درجات الحرارة في أثناء التشغيل العادي للمفاعل ، كما انه يحتاج الى ضغط مرتفع بدرجة كافية لضمان استمرار تدفقه خلال الدائرة الابتدائية للمفاعل . بالرغم من ذلك فان التفاعل الشديد للصوديوم مع الماء يضم قيوداً كبيرة على تصميم وانشاء المبادلات الحرارية ، حيث يلزم الفصل التام بين الصوديوم الساخن المار في الدائرة الابتدائية وبين الماء المستخدم في الدائرة الثانوية لانتاج البخار الذي يدير مجموعة التوربين والمولد.

وهناك أيضاً بعض القيود الأخرى على التصميم بسبب درجة الاشعاع الشديدة بداخل قلب المفاعل ، مما يؤدي الى تقصير المدة التي تمكّن بقاء الوقود بالمناطق ذات الاشعاع العالي بقلب المفاعل حتى يتم اخراجه لاعادة معالجته . وظاهرتا الانتفاخ والزحف للمواد تنشأ عنها قيود أخرى بالنسبة للتصميم من ناحية اختيار المواد ذات الخواص المناسبة . ويلزم اجراء مزيد من البحوث الميتالورجية والتطوير لانتاج مواد بالخواص المطلوبة لتلافي ضرورة اللجوء الى تخفيض معامل التوالد أو انقاص درجات الحرارة والكفاءة

الحرارية بما يتفق مع خواص المواد المتاحة. وهناك مشكلة تكنولوجية أساسية أخرى ناتجة من ضرورة التغيير المتكرر للوقود من قلب المفاعل حتى يمكن الحصول على معدلات عالية لاحتراق الوقود. وهذا بالتالي يتطلب تطويراً لمعدات بالغة التعقيد لدورة الوقود لاعادة المعالجة واعادة تصنيع المواد الانشطارية المفصولة في شكل وقود جديد.

ومع ذلك فانه رغم المشاكل والصعوبات السابق ذكرها فان التقدم الفني والتكنولوجي الذي تم احرازه خلال السنوات الأخيرة لتطوير المفاعلات السريعة المتوالدة المبردة بالمعادن السائلة من خلال الخبرة في التشغيل لمحطات النماذج الأولية وكذلك من تصميم نماذج أولية بأحجام كبيرة للمفاعلات السريعة المتوالدة، اتضح أن جميع المشاكل الأساسية في التصميم والتكنولوجيا قد تم التوصل الى حلول مناسبة لها، وتتركز الجهود الآن على مشاكل التطوير الهندسية. وقد تم تشغيل نماذج أولية لمحطات في كل من الاتحاد السوفييتي وفرنسا والمانيا الغربية وكذلك في المملكة المتحدة. ففي الاتحاد السوفييتي تم تشغيل محطتين الأولى معروفة باسم (BOR-60) بصافي خرج كهربائي مقداره ١١ ميجاوات في عام ١٩٦٩. ويستخدم في المفاعل بهذه المحطة وقود من اليورانيوم المثرى بنسبة ٩٠٪، وعاكس من الصلب واليورانيوم المستنفد ويبرد بمعدن الصوديوم السائل. أما المحطة الثانية فتعرف باسم (BN-350) - تم تشغيلها في عام ١٩٧٣ في «شيفشنكو» بصافي خرج كهربائي مقداره ١٣٥ ميجاوات. وان الوقود المستخدم بهذا المفاعل نسبة اثرائه ١٧ و٢٦٪ من اليورانيوم أو البلوتونيوم، ويستخدم غطاء من اليورانيوم المستنفد ومبرد من الصوديوم السائل. وفي فرنسا تم تشغيل محطة واحدة عام ١٩٧٤ تعرف باسم (فينكس) قدرتها الكهربائية ٢٥٠ ميجاوات. ويستخدم في هذا المفاعل وقوداً من البلوتونيوم وعاكساً من الصلب واليورانيوم المستنفد وللتبريد الصوديوم السائل.

وفي المملكة المتحدة تم تشغيل محطة « دونري » منذ عام ١٩٧٧ بصافي خرج كهربائي مقداره ٢٣٠ ميجاوات ، ويستخدم المفاعل اليورانيوم أو البلوتونيوم المثرى بنسبة ٢٥ الى ٣٠٪ كوقود ، وعاكساً من الصلب واليورانيوم المستنفذ وسائلا للتبريد من الصوديوم. وفي المانيا الغربية تم تشغيل محطة (KNK-II) منذ عام ١٩٧٣ بصافي خرج كهربائي مقداره ١٧٫٨ ميجاوات .

وفي ضوء خبرة التشغيل السابقة ، والتي ما زالت بالطبع تعتبر محدودة نسبياً ، فانه يمكن التيقن من جدوى اقامة محطات انتاج الطاقة الكهربائية بالمفاعلات السريعة المتوالدة والمبردة بالمعدن السائل على المستوى التجاري ، وكذلك الثقة في تشغيل هذا النوع من المفاعلات بامان . وهناك ثلاث محطات كبيرة يجري انشاؤها حالياً على المستوى التجاري من النوع السريع المتوالد الأولى هي محطة « سوبرفنكس » في فرنسا بقدرة ١٢٠٠ ميجاوات والتوقيت الزمني لتشغيلها هو عام ١٩٨٣ . والمحطة الثانية هي محطة (BN-600) في الاتحاد السوفييتي بقدرة كهربائية ٦٠٠ ميجاوات والتوقيت الزمني لتشغيلها هو عام ١٩٨٠ وفي المانيا الغربية يجري انشاء محطة بقدرة كهربائية ٢٩٢ ميجاوات يتوقع تشغيلها في عام ١٩٨٣ .

بالاضافة الى ذلك هناك خمس محطات أخرى كبيرة على المستوى التجاري تم التخطيط لانشائها في المانيا الغربية ، وانجلترا واليابان ، والاتحاد السوفييتي يبلغ مجموع صافي قدراتها الكهربائية ٤٧٥٠ ميجاوات ، كما توجد أيضاً محطات لمفاعلات سريعة متوالدة تجريبية صغيرة بدأ في اقامتها في كل من ايطاليا والهند . وهناك الآن اتفاق عام بأن تطوير المفاعلات النووية السريعة المتوالدة يمثل أكثر الحلول التي تعقد عليها الآمال لتوفير الاحتياجات العالمية على نطاق واسع من الطاقة في المستقبل . وبتحقيق تنفيذ برامج المفاعلات السريعة المتوالدة التي يجري انشاؤها حالياً والمخطط لتنفيذها فليس هناك شك في انه بحلول نهاية هذا القرن فان المفاعلات السريعة المتوالدة سوف تلعب دوراً بارزاً

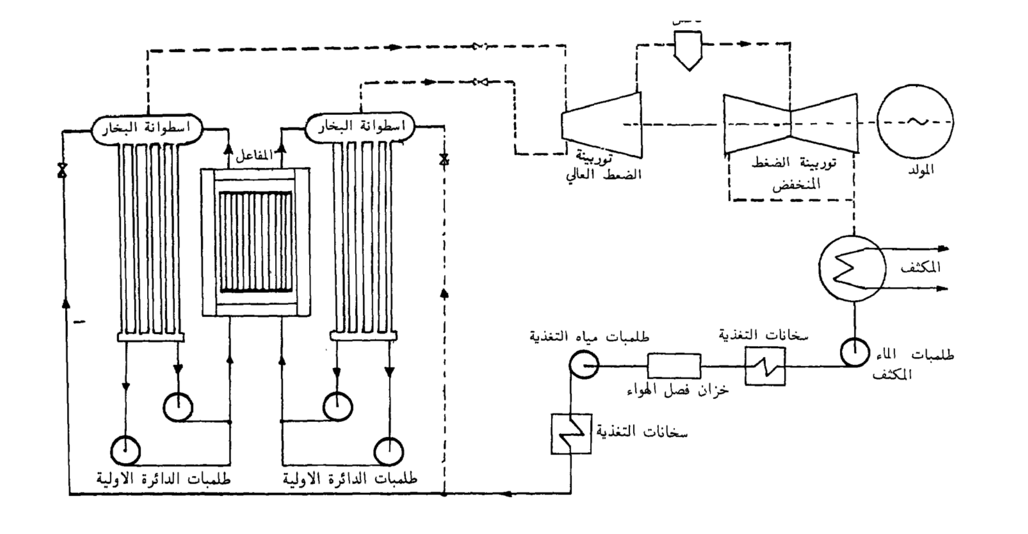
في مواجهة متطلبات الطاقة مستقبلا في العديد من الدول الصناعية المتقدمة ، وقد تستعملها أيضاً بعض الدول النامية .

ثالثاً نظم المفاعلات النووية المتقدمة :

٢ ـ ٥ ـ ١ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل والمبردة بالماء العادي المغلي (HWLWR) أو (SGHWR) :

طورت المفاعلات المبردة بالماء العادي المغلي والمهدأة بالماء الثقيل أساساً لتحديد استخدام الماء الثقيل كمهدىء فقط بينما يتم التبريد باستخدام الماء العادي ونظراً لأن الماء الثقيل يشكل عنصراً مرتفع التكاليف سواء من ناحية ثمنه أو تكاليف التشغيل كما ان استخدامه يتطلب تصميات خاصة للطلبات المحكمة ضد التسرب والصامات والوصلات فمن المهم تخفيض الكميات المستخدمة منه لأقل حد ممكن. ويعتبر الفصل بين المبرد وهي الماءالعادي ، والمهدئ المحيط به وهو الماءالثقيل،ضرورياً لمنع التلوث ونقص خواص الماء الثقيل. وتستخدم لهذا الغرض أنابيب الضغط بدلا من أوعية الضغط ، ونظراً لأن الماء العادي المضغوط لم تظهر له مزايا كافية تبرر استخدامه في تصميم مجموعة التبريد ،فان تصميم النماذج الأولية يستخدم فيها للتبريد الماء العادي المغلي في صورة بخار ، وأهم ما يتميز به ذلك هو امكان توليد البخار المحمص مباشرة من المفاعل ويمر مباشرة الى التوربين دون الحاجة الى مبادل حراري. وهذه السمة للتصميم تجعل هذا النظام من المفاعلات يفوق التصميم العادي لمفاعلات الماء المغلي الذي يمكن فقط من انتاج بخار مشبع عند درجات حرارة منخفضة ، ويجدر الاشارة هنا الى أن محاولات تحميص البخار نوويا في نظم مفاعلات الماء المغلي العادية لم تكلل بالنجاح .

ومن السمات الهامة الأخرى لهذا النظام من المفاعلات هو امكان استخدام اليورانيوم الطبيعي كوقود ، وبالرغم من أن الوقود المثرى بنسبة صغيرة قد



شكل (٦) : نموذج لمفاعلات الماء الثقيل والماء الخفيف

استخدم في تصميم النماذج التجريبية الأولى لتحسين الاداء والكفاءة الا أن التصميم ذاته يسمح باستخدام اليورانيوم الطبيعي. وقد تم تصميم وتشغيل أول نموذج أولي من هذا النظام للمفاعلات بواسطة هيئة الطاقة الذرية البريطانية في مدينة «وينفريث» بانجلترا، وتعرف هذه المحطة بمفاعل الماء الثقيل مولد البخار (SGHWR) وبدأ تشغيلها في عام ١٩٦٧ بصافي قدرة كهربائية قيمتها ١٠٠ ميجاوات. وقد تم تشغيل هذه المحطة بصورة مرضية وبدرجة اتاحة حوالي ٩٠٪.

وفي كندا تم تصميم وتشغيل محطة يرمز لها (HWLWR) مشابهة للنموذج الأولي البريطاني (SGHWR) استناداً الى خبرة كندا الواسعة في أنظمة مفاعلات الماء الثقيل المعروفة باسم «نظام كاندو». وقد أنشئت هذه المحطة في «جنتيلي» بكندا وتم تشغيلها في عام ١٩٧٠ بصافي قدرة كهربائية قيمتها ٢٥٠ ميجاوات. وعلى خلاف المحطة البريطانية فان المحطة الكندية «جنتيلي» تستخدم اليورانيوم الطبيعي كوقود.

ويبين الشكل رقم ٦ رسماً تخطيطياً لدائرة نموذجية لهذا النظام، من المفاعلات ويعطي الجدول رقم (١٦) مقارنة بين متغيرات التصميم في كل من المحطة البريطانية والمحطة الكندية لنظامي المفاعلات التي تستخدم الماء الثقيل كمهدىء (PHWR and BLWR Gentilly) وقد تم تشغيل المحطتين بصورة مرضية وبدرجة اتاحة جيدة في حدود ٩٠٪ رغم المشاكل التي واجهتها محطة «وينفريت» في البداية بسبب العطب لبعض وحدات الوقود.

ورغم أن الفكرة التي ينبني عليها هذا النظام للمفاعلات تعتبر مستندة الى أساس ثابت الا انه ما زال يلزم اجراء المزيد من أعمال التطوير قبل أن يمكن استخدامه في تشغيل محطات كبيرة على المستوى التجاري. وقد تم اعداد تصميات لمحطات في انجلترا بقدرات ٤٥٠ ميجاوات و٦٠٠ ميجاوات لاستخدامها في التشغيل على المستوى التجاري من هذا النوع (SGHWR) الا

جدول رقم (١٦) مقارنة بين متغيرات التصميم لقلب المفاعل والوقود في نظم مفاعلات الماء الثقيل

متغير التصميم	محطة وينفريث (SGHWR)	محطة يبكرنج (PHWR)	محطة جنتيلي (HWLWR or BLWR)
القلب :			
قدرة المفاعل (ميجاوات حرارة)	٣٢٠	١٧٤٤	٨٤٠
القطر الفعال (متر)	٣ر٧	٦ر٣٧	٥ر٥
الطول (متر)	٣ر٨٨	٥ر٩٤٤	٥ر٠
عدد القنوات	١٠٤	٣٩٠	٣٠٨
عدد وحدات الوقود (بكل قناة)	١	١٢	١٠
الوقود :			
قطر وحدات الوقود (سم)	١٢ر٩	١٠ر٢٤	٢٠
طول القضيب (سم)	٣٦ر٦	٤٩ر٥	٤٩ر٥
قطر القضيب (سم)	١ر٤٤	١ر٥٢	٢ر٠
مادة التغليف	زركالوي ـ ٢	زركالوي ـ ٤	زركالوي ـ ٤
نسبة التزويد للوقود يو أ٢	٢ر٣٪	طبيعي	طبيعي

انه لم يتم انشاء أية مفاعلات بهذا الحجم بعد ، وما زالت الخبرة محدودة وتقتصر على تشغيل المحطتين النموذجيتين وتبلغ قدرتهما ٣٥٠ ميجاوات. ورغم أن انجلترا ظلت لبعض الوقت تفكر في استخدام مفاعلات من نوع (SGHWR)

لبرامجها المستقبلية للقوى النووية الا أن المعلومات المتوفرة حالياً توضح انه لا يوجد محطات من هذا النوع من المفاعلات يجري انشاؤها الآن أو مخطط لاقامتها بالمملكة المتحدة .

٢ ـ ٥ ـ ٢ المفاعلات المهدأة بالماء الثقيل المبردة بالغاز (HWGCR) :

تم تطوير فكرة المفاعل المهدأة بالماء الثقيل والمبرد بالغاز على نفس الأسس السابقة التي تهدف الى قصر استخدام الماء الثقيل كمهدئ فقط وبالتالي خفض تكاليف الانشاء والتشغيل . وان استخدام الغاز في التبريد بدلا من الماء العادي كما في نظام المفاعلات السابق (SGHWR) ، يمتاز بتوليد البخار بدرجات حرارة مرتفعة . وبالاضافة الى ذلك فان استخدام الماء الثقيل كمهدئ يمكن من استخدام اليوانيوم كوقود . وكان أول اختبار لفكرة هذا النوع من المفاعلات هو انشاء تجربة لمفاعل قوى صغير تم تشغيله في عام ١٩٦٦ بسويسرا بصافي قدرة كهربائية مقدارها ٦ر٧ ميجاوات . وهذا المفاعل مصمم بطريقة أنابيب الضغط ويستخدم فيه اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (٩٦٪) كوقود والماء الثقيل كمهدئ وعاكس وغاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد . وقد تم انشاء وتشغيل نموذج أولي لمحطة في فرنسا منذ عام ١٩٦٨ بصافي قدرة مقدارها ٧٠ ميجاوات تعرف برمز (EL-4) ويستخدم المفاعل اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة ٣٧ر١٪ و٦٥ر١٪ كوقود ، والماء الثقيل كمهدئ وغاز ثاني أكسيد الكربون للتبريد . وفي المانيا الغربية هناك محطة يبلغ صافي قدرتها الكهربائية ٧٠ ميجاوات وتعرف برمز (KKN) تم تشغيلها منذ عام ١٩٧٠ ويستخدم في مفاعلها أيضاً اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة (١٥ر١٪) كوقود ، والماء الثقيل كمهدئ وغاز ثاني أكسيد الكربون كمبرد . وان تصميم المفاعلات الفرنسية والالمانية من النوع الذي يستخدم أنابيب الضغط ويبلغ صافي الكفاءة الحرارية التي تم الوصول اليها في تلك المحطات حوالي ٣١٪ ، ورغم النجاح الذي حققه تشغيل هذه النماذج الأولية للمحطات فلا توجد خطط لانشاء

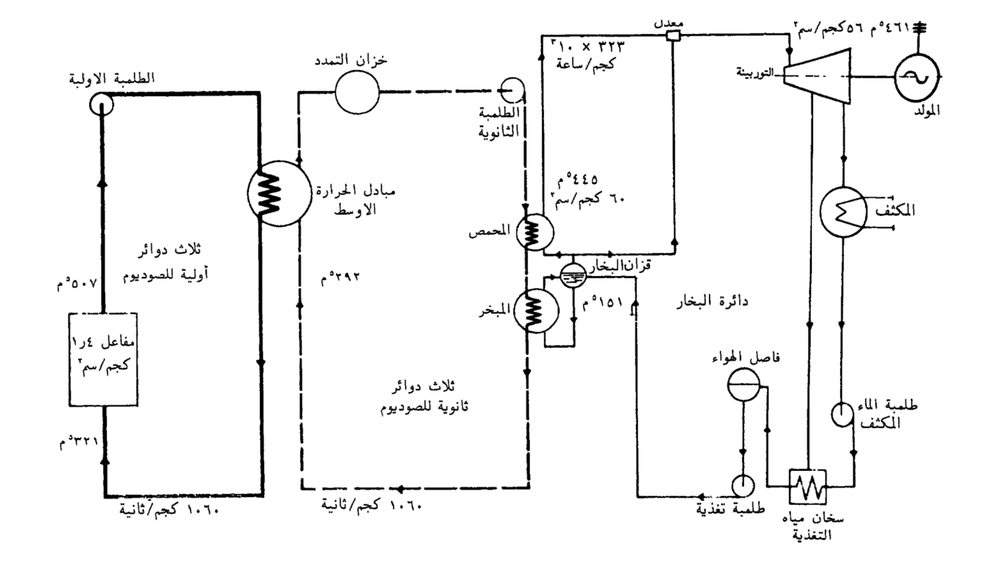
واقامة وحدات أخرى ، كما ان هذا النوع لا يتم عرضه للتصدير للدول الأخرى . وقـد تم انشاء وتشغيـل المحطـة الثـالثـة من نوع (HWGCR) في تشيكوسلوفاكيا في عام ١٩٧٢ بصافي قدرة كهربائية يبلغ ١١٠ ميجاوات ويختلف تصميم هذه المحطة عن التصميم الفرنسي والالماني في ناحيتين رئيسيتين أولهما انها تستخدم اليورانيوم الطبيعي بدلا من اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة ، والناحية الثانية هي استخدام وعاء للضغط بدلا من أنابيب الضغط . وقد سبب هذا الاختلاف الأخير مشاكل كبيرة في تصميم وتصنيع وانشاء وعاء الضغط مما أدى الى تأخير كبير في انشاء وتشغيل هذه المحطة والتي استغرق انشاؤها وقتاً طويلا جداً بلغ حوالي أربعة عشرة عاماً . وما زالت الخبرة في هذا النوع من المفاعلات محدودة جداً ولا يعرف اذا كانت هناك محطات أخرى منه سيتم اقامتها في المستقبل أو انها ستصبح متاحة للتشغيل على المستوى التجاري أو للتصدير .

٢ ـ ٥ ـ ٣ المفاعلات المبردة بالصوديوم والمهدأة بالجرافيت (SGR) :

تم تطوير فكرة هذا المفاعل المبرد بالصوديوم السائل والمهدأ بالجرافيت بالولايات المتحدة الأمريكية على أساس أن استخدام الجرافيت كمهدئ والصوديوم السائل كمبرد يحقق ميزة تشغيل المفاعل بدرجات حرارة عالية وبالتالي امكان توليد بخار ذو نوعية عالية ، والوصول الى كفاءة حرارية مرتفعة لانتاج الطاقة الكهربائية . ونظراً لخواص الانتقال الحراري الممتازة لمعدن الصوديوم السائل فان استخدامه يسمح بمعدل قدرة مرتفعة وحجم مفاعل صغير . وقد أنشىء مفاعل اختبار على أساس هذه الفكرة بالولايات المتحدة الأمريكية بقدرة ٧ر٥ ميجاوات ويعرف هذا المفاعل باسم مفاعل الصوديوم التجريبي (SRE) وتم تشغيله في عام ١٩٥٨ ، ويستخدم في هذا المفاعل اليورانيوم والثوريوم المثرى بنسبة عالية ٩٣٪ كوقود والجرافيت كمهدئ والصوديوم السائل كمبرد .

وقد أدت الخبرة المكتسبة من هذه التجربة الى انشاء النموذج الأولي الوحيد الذي تم انشاؤه وتشغيله بالولايات المتحدة الأمريكية منذ عام ١٩٦٢ بصافي قدرة كهربائية مقدارها ٧٦ ميجاوات بمدينة « هالام » بولاية نبراسكا. وهذا المفاعل مبرد بالصوديوم السائل ومهدأ بالجرافيت ويستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة ٣٫٦٪ كوقود والصلب الغير قابل للصدأ كمادة تغليف لأعمدة الوقود. ويبين الشكل رقم ٧ رسماً تخطيطياً لدائرة نمطية لهذا النوع من نظام المفاعلات. ويبلغ صافي الكفاءة لهذه المحطة ٣١٫٦٪ بدرجات حرارة تبلغ ٥٠٧°م عند خروج سائل التبريد ويبلغ معدل احتراق الوقود في المتوسط ٨٨٠٠ ميجاوات - يوم للطن وقد بلغت حداً أقصى مقداره ١٥٠٠٠ ميجاوات - يوم للطن وباستخدام اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة يمكن الحصول على نسبة تحويل اليورانيوم الى البلوتونيوم ٢٣٩ مقدارها ٠٫٩ ومن الممكن اتخاذ هذا التصميم بعد ادخال بعض التعديلات عليه للتشغيل كمفاعل قوى حرارية من النوع المتوالد الحراري باستخدام اليورانيوم ٢٣٣ كمادة انشطارية والثوريوم كمادة خصبة. ولكن نظراً لأن الخبرة المتاحة في هذا المجال ما زالت محدودة جداً حيث انه لم يتم التشغيل سوى لنموذج أولي واحد بقدرة ٧٦ ميجاوات فمن الصعب التكهن بان تكون الأنظمة لهذا النوع من المفاعلات متاحة للتشغيل على المستوى التجاري في المستقبل.

ولا توجد في الوقت الحاضر أية خطط لبناء محطات أخرى من هذا النوع سواء بالولايات المتحدة الأمريكية أو في أي مكان آخر. ويبدو أن المشاكل التكنولوجية الأساسية تتعلق باستخدام معدن الصوديوم من حيث ضرورة المحافظة على استمرار بقائه في صورة نقية تحت ظروف التشغيل المستمر، لان وجود أية شوائب وبصفة خاصة الهواء تسبب رواسب وأوساخ على الأسطح المعدنية للوقود والمبادلات الحرارية. وبالاضافة الى ذلك فان معدن الصوديوم يشتعل في الهواء وشديد التفاعل مع الماء، ولذلك فان أي تسرب منه للجو



شكل (٧): نموذج لمفاعلات الصوديوم والجرافيت

الخارجي أو الى المبادل الحراري قد يؤدي الى حدوث حريق أو انفجار ، ويمكن أن يؤدي ذلك الى وقوع حادثة نووية . ولكن تطوير تكنولوجيا استخدام الصوديوم للمفاعلات السريعة المتوالدة قد يؤدي الى تجديد الاهتمام بهذا النوع من أنظمة المفاعل ، ولكن في الوقت الحاضر يمكن اعتباره فقط من الناحية التاريخية بالنسبة لتطور أنظمة مفاعلات القوى النووية .

٢ - ٥ - ٤ المفاعلات المهدأة والمبردة بالمواد العضوية (OMR) :

يتشابه التطور التاريخي لنظام المفاعلات المهدأة والمبردة بالمواد العضوية مع تاريخ مفاعل الصوديوم والجرافيت . فقد بدأ تطويرها بالولايات المتحدة الأمريكية بمفاعل تجارب صغير أنشأته هيئة الطاقة الذرية الأمريكية (USAEC) في عام ١٩٥٧ ، وكان معروفاً باسم « تجربة المفاعل المهدأ بالمواد العضوية»(OMRE) ثم أعقب ذلك اقامة نموذج أولي لمحطة قوى أكبر قامت بانشائها وتشغيلها احدى الشركات التجارية ، بالولايات المتحدة ، وتعرف هذه المحطة باسم منشأة « بكواه » للقوى النووية (PIQUA) وبدأت عملها في عام ١٩٦١ بصافي قدرة كهربائية قدرها ١١ ميجاوات . ويستخدم في هذا المفاعل اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة (١ر٩٤٪) كوقود ومركب عضوي سائل في دائرة مضغوطة بداخل قلب المفاعل كمهدىء . وقد انشأ الاتحاد السوفييتي أيضاً محطة تجريبية صغيرة من هذا النوع (OMR) تم تشغيلها في عام ١٩٦٣ عرفت باسم (ARBUS) بصافي قدرة كهربائية قدرها ٥ ميجاوات . والوقود المستخدم في هذا المفاعل من اليورانيوم المزود بنسبة كبيرة ٣٦٪ ، والمبرد والمهدأ من مركبات عضوية ، والعاكس من الألومنيوم مع مركب عضوي . وقد اتجه الاهتمام بفكرة هذا النوع من المفاعلات أساساً لعدد من الخواص المرغوب فيها للسوائل العضوية مثل « البوليفينيل » الذي له درجة غليان مرتفعة وبالتالي فانه يمكن توليد البخار في درجات حرارة عالية تحت ضغط تشغيل

منخفض. هذا بالاضافة الى أن السوائل العضوية ليست سامة، ومخاطر الحريق عند استخدامها ضئيلة. وعلى النقيض من الصوديوم فان السوائل العضوية لا تسبب الصدأ وبذلك يمكن استخدام الصلبَ العادي في انشاء أجزاء المفاعل. ورغم كل هذه الخواص والصفات المتميزة للسوائل العضوية الا أن من عيوبها الرئيسية هو تحللها تحت تأثير التعرض للتشعيع، فهي تتحلل (مكونة بعض الغازات) وتتبلمر (Polymerise) مكونة مادة سميكة مثل القطران تتراكم داخل الأجهزة وتسبب اتساخها. ويتطلب ذلك تعويض السائل العضوي، الذي يفقد نتيجة لهذا التحلل بصفة منتظمة مما يؤدي الى صعوبات فنية في التشغيل وزيادة في التكاليف.

ونتيجة لهذه الصعوبات الفنية كان الاهتمام ضئيلا لمواصلة تطوير هذا النظام في الولايات المتحدة الأمريكية أو في أي دولة أخرى. وفي الوقت الحاضر لا توجد هناك خبرة مفيدة تذكر لتشغيل هذا النظام من نوع المفاعلات ويمكن اعتباره ذو أهمية من الناحية التاريخية فقط.

٢ - ٥ - ٥ مفاعلات التحكم بازاحة الطيف النيوتروني (SSCR):

يتشابه هذا النوع من المفاعلات من الناحية الأساسية مع مفاعل الماء العادي المضغوط (PWR) ويمكن اعتبار معظم السمات الفنية للتصميم ثبتت صلاحيتها وتجربتها الا انه نظراً لعدم انشاء أية نماذج أولية لهذا النظام من المفاعلات فقد تم اعتباره ضمن هذه المجموعة للمفاعلات المتقدمة.

وان الفرق الأساسي بين تصميم مفاعل التحكم بازاحة الطيف النيوتروني ومفاعل الماء العادي المضغوط المعروف هو في نظام التحكم المستخدم. فيتم التبريد لقلب المفاعل بمخلوط من الماء العادي والماء الثقيل ويمكن تغيير النسبة بينهما حسب الحاجة. وتبعاً لهذه النسبة يمكن تغيير الطيف النيوتروني وبذلك يمكن التحكم في عدد النيوترونات الحرارية الداخلة الى الوقود. والتأثير الناتج

من هذا الأسلوب في التحكم هو امكان تغيير نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٥ وتؤدي الى الانشطار ، الى نسبة النيوترونات التي تتفاعل مع اليورانيوم ٢٣٨ لتكوين البلوتونيوم . وفي بداية التشغيل تؤخذ نسبة الماء الثقيل في مياه التبريد بحيث تكون أعلى من نسبة الماء العادي وبالتالي يتم زحزحة غالبية النيوترونات نحو اليورانيوم ٢٣٨ . وكلما استمر احتراق المادة الانشطارية بداخل أعمدة الوقود وانخفضت الفاعلية يتم زيادة نسبة الماء العادي تدريجياً باحلاله محل الماء الثقيل ويتم بذلك ازاحة الطيف النيوتروني ناحية التفاعل الانشطاري مع اليورانيوم ٢٣٥ . ويتحقق التحكم في المفاعل بهذا الأسلوب عن طريق ازاحة الطيف النيوتروني دون الحاجة الى استخدام النيوترونات المستهلكة السامة . وفي مفاعلات الماء المضغوط العادية لا يمكن التحكم الكامل في الفاعلية بواسطة قضبان التحكم نظراً لأن الضغوط العالية جداً تحد من عدد الفتحات التي يمكن عملها في غطاء وعاء الضغط ، لذلك فان الطريقة المستخدمة حالياً في محطات الماء المضغوط هي « تسميم المفاعل » عمداً عند بداية التشغيل باضافة تلك « السموم » وهي مواد بها قابلية لامتصاص النيوترونات الى الماء أو باستعمال سموم قابلة للاحتراق توضع بداخل وحدات الوقود أو بداخل قلب المفاعل . ويتم التحكم بانقاص كمية السموم وبذلك يتم اطلاق (أو زيادة) الفاعلية مع استمرار التشغيل . وهذا الأسلوب في التحكم لا شك انه يؤدي الى فقد في النيوترونات وتكاليف كبيرة للتشغيل ورغم أن فكرة استخدام ازاحة الطيف النيوتروني في التحكم ، والتي سجلت لها براءة اختراع من شركة « بابكوك اند ويلكولس » الأمريكية ، يمكن أن تؤدي الى تحسينات كبيرة في نظام مفاعلات الماء المضغوط الحالية فانه لم يتم وضعها موضع التنفيذ العملي في أية محطة من المحطات التي تم تشغيلها حتى الآن .

الباب الثالث

دورات الوقود النووي

٣ ـ ١ عناصر دورة الوقود النووي :

تتضمن مجموعة العمليات التي تمر بها المواد حتى تستعمل كوقود للمفاعلات النووية ، عناصر دورة الوقود النووي ، ويمكن تقسيم عمليات دورة الوقود الى مجموعتين رئيسيتين كالآتي :ـ المجموعة الأولى وتشمل عمليات « الطرف الأمامي لدورة الوقود » والتي تغطي كل المراحل التي تسبق اتمام الاحتراق للوقود في قلب المفاعل وكذلك تفريغها الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية : ـ

أ ـ استخراج وطحن اليورانيوم .

ب ـ تحويل اليورانيوم الى سادس فلوريد اليورانيوم « يوفل ٦ » والاثراء بالنظير « يو ٢٣٥ » .

ج ـ تصنيع وحدات الوقود .

أما المجموعة الثانية فتشمل عمليات « الطرف الخلفي لدورة الوقود » . وتغطي كل العمليات التي تلي انتقال الوقود المشع من قلب المفاعل الى وسائل التخزين وتشتمل على العمليات الرئيسية الثلاث الآتية : ـ

د ـ تخزين الوقود المستنفد .

هـ ـ اعادة معالجة الوقود المحترق .

و ـ التخلص من النفايات المشعة .

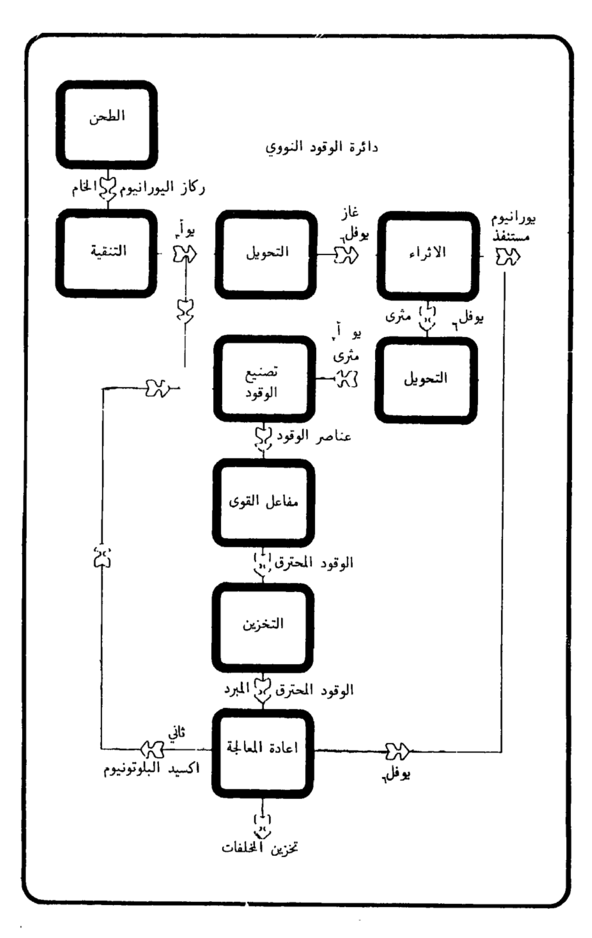
ويوضح الرسم التخطيطي في شكل (٨) العناصر المختلفة لدورة الوقود ، وسيتم وصف هذه العناصر بايجاز في البنود التالية :

أولا الطرف الأمامي لدورة الوقود :

٣ - ١ - ١ استخراج وطحن اليورانيوم :

نظراً لأن اليورانيوم - ٢٣٥ هو المادة الوحيدة الموجودة في الطبيعة والقابلة للانشطار النووي لذا فهي تمثل نقطة البداية لانتاج الوقود الضروري لتشغيل المفاعلات النووية . ومنه أيضاً يستمد النظير الأكثر توافراً وهو اليورانيوم ٢٣٨ وهو المادة الخصبة لانتاج البلوتونيوم ٢٣٩ القابل أيضاً للانشطار النووي . وتعتبر أمريكا الشمالية وأفريقيا واستراليا مصادر لحوالي ٨٠٪ من موارد اليورانيوم المؤكدة والمضمونة ، وتوجد في صورة أحجار رملية مترسبة أو في تجمعات من البللور الصخري أو ترسيبات مشابهة أخرى مثل الترسيبات اللاتوافقية القديمة . وهناك مصادر فقيرة في اليورانيوم تمد العالم أيضاً بكميات اضافية صغيرة ويستخلص منها اليورانيوم كناتج ثانوي ، مثل اليورانيوم الناتج من خامات الفوسفات عند تصنيع حامض الفوسفوريك ومن المحاليل الناتجة من تذويب خامات النحاس . هذا بالاضافة الى مصادر فقيرة أخرى مثل الرواسب البحرية السوداء والفحم ، والفحم الحجري ومياه البحر . وتبذل جهود دولية على نطاق واسع للبحث عن اليورانيوم في دول متعددة في أمريكا الشمالية واستراليا وآسيا وأفريقيا وأوروبا وأمريكا اللاتينية ، وقد زادت هذه الجهود في السنوات الأخيرة حتى بلغ مجموع ما ينفق عليها في حدود من ٤٠٠ الى ٥٠٠ مليون دولار سنوياً ، وبنهاية عام ١٩٧٧ ، بلغ اجمالي الانتاج العالمي من اليورانيوم حوالي ٤٧٠٠٠٠ طن ويقدر معدل الانتاج السنوي في الوقت الحاضر بحوالي ٣٨٠٠٠ طن سنوياً .

ويعتبر توافر اليورانيوم من أهم العناصر الرئيسية لتطوير وتنمية الطاقة



شكل (٨): عناصر دائرة الوقود النووي

النووية، وتتشابه طرق استخراج اليورانيوم الى حد كبير مع تلك الطرق المستخدمة في استخراج مناجم الفحم فيما عدا الملامح والاحتياطات الخاصة المتبعة في التعامل مع المواد الاشعاعية. بعد استخراج اليورانيوم من المنجم تجرى عليه بعض العمليات الميكانيكية والكيميائية أو يطحن لتكوين ما يسمى «بالعجينة الصفراء» التي تحتوي على حوالي ٨٠٪ من أكسيد اليورانيوم (يو$_{٣}$ أ$_{٨}$)، ويحتوي اليورانيوم الخام عادة على حوالي ١ر٠٪ فقط من هذا الأكسيد.

٣ - ١ - ٢ عملية التحويل الى سادس فلوريد اليورانيوم «يوفل$_{٦}$» والاثراء بالنظير «يو ٢٣٥»

تحول العجينة الصفراء المركزة من أكسيد اليورانيوم (يو$_{٣}$أ$_{٨}$) الى سادس فلوريد اليورانيوم (يوفل$_{٦}$) وهو عبارة عن مركب من اليورانيوم يكون في حالة صلبة عند درجة حرارة منخفضة نسبياً وهي حوالي ٦٠ درجة مئوية. وهذه العملية (أي عملية التحويل) تمثل خطوة أساسية لتحويل العجينة الصفراء الى مركب من اليورانيوم في الحالة الغازية، وهي ضرورية في العمليات التالية المستخدمة في الاثراء بالنظير «يو ٢٣٥». هذا وتعتبر التكنولوجيا المستخدمة في عمليات اثراء اليورانيوم بالنظير «يو ٢٣٥» من الأسرار البالغة الحظر نظراً لأنها تؤدي الى طريق مباشر لانتاج الأسلحة النووية.

ولا تزال الدول النووية وبعض الدول المتقدمة صناعياً هي المسيطرة على عمليات اثراء اليورانيوم لعدة عوامل، في مقدمتها القيود المفروضة على المعلومات والتكنولوجيا الخاصة بعمليات الاثراء ولأن معدات إثراء اليورانيوم لا يمكن اقامتها الا على نطاق كبير وبتكاليف باهظة وانها تحتاج في تشغيلها الى كميات ضخمة من الطاقة الكهربائية. ومن المعروف ان وسائل

اثراء اليورانيوم قد تم اقامتها في الصين واستخدمت لتطوير التفجيرات النووية الصينية. وبالتالي فقد بدأت تكنولوجيا عمليات اثراء اليورانيوم تمتد تدريجياً الى بعض الأقطار الأخرى اما بغرض تدعيم برامجها للاستخدامات المدنية للطاقة النووية أو لأغراض استراتيجية تستهدف الاستقلال في الطاقة النووية أو الحصول على المواد النووية القابلة للانشطار لانتاج الأسلحة النووية.

وتوجد وحدة اثراء تحت الانشاء في جنوب أفريقيا وتقوم البرازيل بالتعاون مع المانيا بتطوير وحدة مشابهة لهذا الغرض. وفي الوقت الذي نرى فيه أن عمليات اثراء اليورانيوم لا تزال من المجالات الحساسة فيما يتعلق بموضوع انتشار الأسلحة النووية، نجد أن عمليات الاثراء تتاح لبعض الدول عن طريق معاهدات حكومية تحت اشراف الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ويمكن الحصول على الوقود الذي تم اثراؤه من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وبريطانيا وفرنسا وذلك لغرض استخدامه في مفاعلات الأبحاث ومفاعلات القوى. كما تقدم مجموعتان في أوروبا خدمات في مجال الاثراء وتعرف الأولى باسم « يورنكو » (URENCO) وتشترك فيها المملكة المتحدة والمانيا الغربية وهولندا، والمجموعة الثانية هي « يروديف » (EURODIF) في فرنسا. ويستعمل اليورانيوم المثرى بالنظير ٢٣٥ في مفاعلات الماء العادي والمفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً وفي المفاعلات السريعة المتوالدة المنتجة للمواد الانشطارية من المواد الخصبة، ويبلغ تركيز اليورانيوم ٢٣٥ في الخام الطبيعي حوالي ٧ر٠٪ وتزداد هذه النسبة الى حوالي ٢ - ٤٪ في اليورانيوم المزود لمفاعلات الماء العادي أو الى درجة اثراء عالية ٨٠ - ٩٠٪ للمفاعلات السريعة المتوالدة وبعض مفاعلات الأبحاث والاختبارات. وتوجد حالياً أربع طرق لاثراء أو تزويد اليورانيوم هي، الانتشار الغازي، الطرد المركزي والطريقة الديناميكية الهوائية، وطريقة الليزر.

٣ - ١ - ٢ - ١ طريقة الانتشار الغازي :

تم تطوير طريقة الانتشار الغازي واستعملت أساساً لاثراء اليورانيوم اللازم لتصنيع الأسلحة النووية ولوقود المفاعلات ، وتتم عملية الاثراء بامرار غاز سادس فلوريد اليورانيوم (يوفل٦) خلال حاجز مسامي ، فتمر من خلاله جزيئات الغاز الخفيفة التي تحتوي على يو ٢٣٥ بمعدل أسرع من الجزيئات الثقيلة الحاملة للنظير يوم ٢٣٨ . ونظراً لأن كمية الفصل الناتجة باستعمال حاجز واحد تكون قليلة نوعاً ما ، فانه يلزم استخدام عدد كبير من الحواجز لامكان الحصول على درجة اثراء ذات قيمة عملية . وللوصول الى درجة اثراء ٣٪ من يو ٢٣٥ ابتداء من النسبة في سادس فلوريد اليورانيوم الطبيعي فان عملية الاثراء تحتاج الى حوالي ٤٠٠٠ مرحلة من الحواجز تقريباً . وتعتمد كمية التغذية من اليورانيوم الطبيعي على درجة النقاوة المطلوبة يو ٢٣٥ في اليورانيوم المستنفد بعد عملية الاثراء والتي تتغير بين ٢ر٠ الى ٣ر٠٪ من يو ٢٣٥ وعلى سبيل المثال عندما تكون هذه النسبة ٢ر٠٪ من يو ٢٣٥ ، فان انتاج كيلوجرام واحد من اليورانيوم المثرى بنسبة اثراء ٣٪ يحتاج الى تغذية مقدارها ٥ر٥ كيلوجرام من اليورانيوم الطبيعي . وقد تم انشاء وتشغيل وحدات الانتشار الغازي في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة والاتحاد السوفييتي وفرنسا والصين . وبالرغم من انه يعرف عن هذه العملية انها تحتاج الى كميات كبيرة من الطاقة الكهربائية وانها تخضع لاقتصاديات الحجم الكبير ، فانه من الممكن انشاء وحدات الانتشار الغازي وتشغيلها بنجاح بأي قدرة انتاجية مطلوبة بما في ذلك امكان انشاء الوحدات الصغيرة منها . وعلى سبيل المثال فان الوحدة التي تم انشاؤها في بريطانيا تعمل بطاقة انتاجية مقدارها ٤٠٠ طن فقط من وحدات الفصل في السنة وهي تمثل نسبة ٥٪ فقط من الطاقة الانتاجية لواحدة من الوحدات الكبيرة بالولايات المتحدة .

٣ ـ ١ ـ ٢ ـ ٢ طريقة الطرد المركزي الغازي :

طورت المانيا الغربية وبعض الدول الأوروبية الأخرى طريقة الطرد المركزي الغازي للاثراء وطبقت بنجاح على المستوى التجريبي ، وتُبنى الآن على نطاق اقتصادي على المستوى التجاري . وتعتمد هذه العملية على قوة الطرد المركزي لفصل جزيئات سادس فلوريد اليورانيوم الخفيف « يوفل٦ » الذي يحتوي على اليورانيوم ٢٣٥ عن سادس فلوريد اليورانيوم الثقيل الذي يحتوي على اليورانيوم ٢٣٨ وتحتاج هذه العملية الى عدد أقل من المراحل وتستهلك طاقة كهربائية أقل من عملية الانتشار الغازي . ان اقتصاديات هذه الطريقة غير محددة بحجم اقتصادي معين مثل عملية الانتشار الغازي لذا فانه يمكن تطبيقها لبناء وحدات صغيرة دون أعباء اقتصادية كبيرة . وأن المجموعة المكونة من المملكة المتحدة والمانيا الغربية وهولندا والمعروفة باسم « يورنكو » (URENCO) تملك الآن وحدتين من هذا النوع كما بدأت في انشاء وحدات اقتصادية أكبر على المستوى التجاري .

والجدير بالذكر أن الأبحاث الأساسية الخاصة بتطوير هذه الطريقة قد أجريت في المانيا ، وان المعلومات التكنولوجية عنها محظورة ، خلافاً لعملية الانتشار الغازي ويمكن الحصول عليها ضمن الأبحاث المنشورة .

٣ ـ ١ ـ ٢ ـ ٣ الطريقة الديناميكية الهوائية :

هناك عدة طرق ديناميكية غازية تستخدم لفصل نظائر اليورانيوم ومن أحسن هذه الطرق «عملية المنفذ النفاث لبيكر » (Becker jet nozzle process) والتي يدفع فيها بخليط من غاز سادس فلوريد اليورانيوم يوفل٦ والأيدروجين ليمر بسرعة عالية في مسار نصف دائري فتنفصل الجزيئات الثقيلة عن الجزيئات الخفيفة نتيجة لقوة الطرد المركزي . ومن المتوقع أن تكون تكاليف هذه الطريقة أقل منها في حالة الانتشار الغازي ، بيد أن

استهلاكها من الطاقة الكهربائية سوف يكون أكبر. وقد تم تطوير هذه الطريقة في المانيا الغربية، ومن المعروف أن الوحدة التي ستباع للبرازيل ضمن اتفاق التعاون بين المانيا والبرازيل في مجال الطاقة النووية ستكون من هذاالنوع.

ومن المعتقد أن عملية الاثراء في جنوب افريقيا تعتمد على هذه الطريقة.

٣ - ١ - ٢ - ٤ طريقة الليزر:

ما زال استخدام تكنولوجيا الليزر في عمليات اثراء اليورانيوم في مراحل تطويره المبكرة بمعامل الأبحاث، وتعتمد هذه الطريقة على استخدام الليزر في الاستفادة من الفروق البسيطة في طاقات الاثارة لذرات أو جزيئات اليورانيوم ٢٣٥، ٢٣٨ وتعطي هذه الطريقة درجة عالية من الفصل في مرحلة واحدة، بينما تستهلك كمية أقل نسبياً من الطاقة الكهربائية. ومن المميزات الأساسية لهذه الطريقة انها تزيل الفاقد من اليورانيوم ٢٣٥ الذي يتبقى بعد عملية الاثراء والذي تصل نسبته عادة الى ٠٫٢٪ يو ٢٣٥ في اليورانيوم المستنفذ عند انتهاء العمليات. وهكذا تعتبر هذه الطريقة من أنسب الطرق لاعادة استخلاص اليورانيوم ٢٣٥ من الكميات الهائلة من نفايات أو مخلفات اليورانيوم المستنفذ الناتجة من عملية الاثراء بالانتشار الغازي وطرق الاثراء الأخرى. وتحتوي هذه النفايات أو المخلفات على حوالي ٣٥٪ من اليورانيوم ٢٣٥ من وحدات عمليات الاثراء والتي يمكن استعادتها بعد أن كانت تفقدها في تلك المخلفات من اليورانيوم المستنفذ التي يتم عادة تخزينها أو التخلص منها.

هذا ومن السابق لأوانه الآن التكهن بمستقبل هذه الطريقة من طرق الاثراء ولكن يمكن القول بأن نجاح هذه الطريقة سيكون له أثر واضح على مصادر الطاقة من خلال استخراج اليورانيوم ٢٣٥ من كميات هائلة من المخزون المتراكم من المخلفات.

٣ ـ ١ ـ ٣ تصنيع وحدات الوقود:

تعتبر عملية تصنيع عناصر الوقود النووي لمختلف أنواع المفاعلات واحدة من أرسخ الطرق التكنولوجية في الصناعة النووية. وأصبح من الطبيعي بالنسبة لمفاعلات القوى أن تقوم الشركات الموردة للمفاعل النووي بتنفيذ امدادات الوقود كجزء من العقود المبرمة طبقاً للتصميات والضمانات اللازمة لضبط الجودة وكفاءة الاداء ودرجة احتراق الوقود في قلب المفاعل.

وتتوقف عملية تصنيع عناصر الوقود على نوع المفاعل، فهي اما أن يتم فيها تحويل سادس فلوريد اليورانيوم المثرى (يوفل$_٦$) الى ثاني أكسيد اليورانيوم (يو أ$_٢$)، أو تحويل اليورانيوم الطبيعي (يو$_٣$ أ$_٨$) الى ثاني أكسيد اليورانيوم أو الى معدن اليورانيوم. وان الجزء الأساسي من وحدة الوقود عبارة عن أقراص اسطوانية خزفية صغيرة للوقود وتتكون من مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم (يو أ$_٢$) المثرى بنسبة صغيرة والذي يضغط على البارد ثم يلبد حتى تصل كثافته الى الحد المطلوب وهو ٩٥٪ من الكثافة النظرية لثاني أكسيد اليورانيوم (يو أ$_٢$).

وتوضع الأقراص الملبدة من ثاني أكسيد اليورانيوم في أنابيب ذات سمك رفيع تصنع من مادة خاصة مناسبة للتغليف مثل الزركالوي ـ ٤ أو الزركالوي ـ ٢ أو الصلب الغير قابل للصدأ لتكوين قضبان الوقود النووي. وتجمع قضبان الوقود في مصفوفات مربعة مترابطة لتكوين وحدات الوقود لقلب المفاعل، ويحدد عدد قضبان الوقود وطرق ترتيبها داخل تلك الوحدات طبقاً لمواصفات تصميم قلب المفاعل.

وتصنع وحدات الوقود لمفاعلات اليورانيوم الطبيعي بطريقة مشابهة اما من أقراص مسحوق أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يو أ$_٢$)، أو بتصنيع قضبان معدنية في حالة المفاعلات التي تصمم بحيث يستعمل فيها فلز اليورانيوم كوقود.

وقد تم تطوير صناعة وحدات الوقود لعملية اعادة دورة استخدام البلوتونيوم في صورة أكاسيد مخلوطة من اليورانيوم والبلوتونيوم، واستخدمت وحدات الوقود ذات الأكسيد المخلوط في بعض محطات القوى بالولايات المتحدة كما طورت أيضاً بنجاح طرق التصنيع المباشرة للوقود الحامل للثوريوم من مختلف الأنواع. وان الأنواع الأساسية لوقود الثوريوم المصنع والتي تم تطويرها هي وقود جرافيتي، ووقود في صورة أكسيد مغلف بالفلز ثم وقود من معدن الثوريوم أو سبائكه. وهناك كثير من الاعتبارات والسمات الهامة التي تدخل في عملية التصميم الميكانيكي وعملية تصنيع الوقود للمحطات النووية الكبيرة، لضمان سلامتها وتكاملها واستقرارها وكفاءة تشغيلها لمدة طويلة. وهذه تتضمن الضغط المسبق لقضبان الوقود لتقليل الاجهادات على مادة التغليف، والتأثيرات الميكانيكية بينها وبين الوقود. وينتج عن ذلك تمديد واضح في حدود عمر التغليف ودرجة الاعتماد عليه. وتجري على وحدات الوقود قبل تركيبها في قلب المفاعل اختبارات وفحوص شاملة على أقراص الوقود وأنابيب التغليف والقضبان لضمان درجة اعتمادية عالية أثناء التشغيل.

وتشمل هذه الاختبارات والفحوص مجموعة اختبارات كيميائية وميكانيكية مثل اختبارات اجهاد الشد، واختبارات التأكل وفحص الأبعاد واختبارات باشعة أكس والموجات فوق الصوتية واختبارات تسرب الهيليوم. وعلى العكس من تكنولوجيا عمليات الاثراء فان تكنولوجيا عمليات تصنيع الوقود متاحة على المستوى التجاري من الشركات الصانعة. ويمكن الحصول على عروض لاقامة هذه المصانع من المورد الرئيسي للمفاعل، وان الاعتبار الوحيد الذي يجب مراعاته لاتخاذ قرار بشأن انشاء وحدات تصنيع الوقود في أي دولة هو الجدوى الاقتصادية للمصنع من حيث حجم وعدد المحطات النووية التي يمكن أن يغطي احتياجاتها من الوقود.

ثانياً الطرف الخلفي لدورة الوقود

٣ ـ ١ ـ ٤ تخزين الوقود المشع :

يبدأ الطرف الخلفي لدورة الوقود بالتخزين المؤقت للوقود المستنفد ذو الاشعاعية العالية وذلك بعد انتهاء فترة تشعيعه في قلب المفاعل. ويتم تخزين الوقود الذي سبق استعماله بوضعه على عمق عدة أمتار تحت سطح الماء في أحواض مملوءة بالماء ومصممة لهذا الغرض في موقع المفاعل بمبنى الوقود. وتصمم سعة أوعية التخزين لاستيعاب شحنة كاملة من وقود قلب المفاعل، ويمكن بناء أحواض بسعة أكبر لاستيعاب كميات أكبر اذا دعت الحاجة. وتزود هذه الأحواض بنظام تبريد للتخلص من الحرارة المتولدة من الوقود المخزن، وتصمم مجموعة التبريد بحيث تفي باحتياجات التخلص من الحرارة في الحالات التي يلزم فيها تفريغ وقود المفاعل للفحص أو للصيانة وكذلك في حالات الطوارئ . وتعتمد فترة تخزين الوقود المستنفد على استراتيجية دورة الوقود المتبعة للتخلص النهائي منه أو اعادة معالجته.

٣ ـ ١ ـ ٥ اعادة معالجة الوقود المستنفد :

بعد فترة تبريد تصل الى حوالي عام في أحواض التخزين تكون بعدها غالبية نواتج الانشطار النووي المشعة ذات فترة نصف العمر القصيرة والمتوسطة قد اضمحلت يمكن نقل الوقود المستنفد في أوعية مدرعة خاصة الى وحدات اعادة المعالجة. وتشمل عمليات اعادة المعالجة مجموعة من الخطوات الميكانيكية والكيميائية تجري في معدات مصممة تصمياً خاصاً داخل خلايا ساخنة يمكن التحكم في تشغيلها من بعد وتشمل أيضاً الأجهزة اللازمة للتحكم والوقاية من الاشعاعات الناتجة من البلوتونيوم أو المواد الأخرى عالية الاشعاع. وفيها يذاب الوقود المستنفد في خزانات خاصة وينقل الى الخلايا الساخنة حيث يتم فصل اليورانيوم والبلوتونيوم المتبقيان في الوقود المستنفد

عن المخلفات ذات الاشعاع العالي بطريقة الفصل بالإذابة . وتبلغ نسبة اليورانيوم المستخلص يو ٢٣٥ حوالي ١٪ أو أكثر ومن الممكن تحويله الى سادس فلوريد اليورانيوم لاعادة الاثراء وتزويد عناصر الوقود الجديد للشحنات التالية للمفاعل كما أن البلوتونيوم المستخلص يتم تحويله الى ثاني أكسيد البلوتونيوم (بيو أ٢) لامكان الاستفادة منه في تكوين عناصر أكاسيد الوقود المزوجة والتي يستخدم فيها خليط من أكاسيد البلوتونيوم واليورانيوم ، وفيه يقدم (بيو أ٢) المادة القابلة للانشطار لدرجة الاثراء المطلوبة بدلا من اليورانيوم ٢٣٥. وتعتبر عملية اعادة المعالجة للوقود المحترق واحدة من أكثر عناصر دورة الوقود حساسية لانهما تمثل الخطوة الرئيسية التي يتم فيها استخلاص البلوتونيوم ٢٣٩ الذي يستخدم في صنع الأسلحة النووية . ولذلك فان تبادل الخبرة والتعاون الدولي في هذا المجال ما زال محدوداً الى درجة كبيرة ويخضع لقيود محكمة . وعلى الرغم من ذلك فان وحدات لمنشآت كاملة أو على مستوى تجريبي لاعادة المعالجة قد بنيت في عشر دول على الأقل وهي الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وبريطانيا وفرنسا والمانيا الغربية واليابان واسبانيا والهند والارجنتين وبلجيكا . كما ان هناك عدداً من الدول الأخرى التي يوجد فيها وحدات شغالة أو مخطط لها لاعادة المعالجة على نطاق معملي او نموذج تجريبي . والخدمات في مجال اعادة المعالجة على المستوى التجاري محدودة للغاية وتخضع لضوابط مشددة وقد تكون متاحة الى حد ما من فرنسا وبريطانيا . أما الولايات المتحدة الأمريكية فانها منعت تقديم أية خدمات في هذا المجال في اعقاب السياسة النووية الجديدة التي بدأ تنفيذها باعلان قانون منع الانتشار النووي في مارس ١٩٧٨ .

ويتركز الانتباه في هذه الأيام حول عملية اعادة معالجة الوقود النووي حيث تدور مناقشات مكثفة حول الجوانب المختلفة لها وهي تأجيل اعادة المعالجة أو انعكاساتها على الدول التي تطور برامجها النووية لاختبار فصل

البلوتونيوم واعادة استخدامه في مفاعلات الماء العادي أو في المفاعلات السريعة المتوالدة . وتجري من خلال هذه المناقشات دراسات مكثفة حول مختلف الاتجاهات التكنولوجية والاقتصادية لاعادة معالجة الوقود المحترق والمخاطر المحتملة للانتشار النووي . هذا ويحتوي الوقود المحترق الخارج سنوياً من مفاعلات الماء العادي على حوالي ٣٠ طن من اليورانيوم و٢٥٠ كجم من البلوتونيوم . والجدير بالذكر ان استخراج هذه المواد من الوقود المحترق باعادة المعالجة سوف يقلل من احتياجات اليورانيوم بنسبة ٢٠ - ٢٥٪ ومتطلبات الاثراء بحوالي ١٥٪ . وقد برزت هذه الأيام اعتبارات أخرى بالنسبة لاجراء عمليات اعادة معالجة الوقود كنتيجة للمشاكل التي ظهرت في العديد من المحطات المنتجة للطاقة وهي امتلاء أحواض التخزين للمفاعل بعناصر الوقود المستنفد ، ومن الممكن أن يسبب ذلك صعوبات في امكانية استمرار تشغيل هذه المحطات أو ما يتطلبه ذلك من بناء أحواض جديدة لتخزين الوقود المستنفد ، مما يزيد الأعباء الاقتصادية . ومن الاعتبارات التي تؤيد عملية اعادة معالجة الوقود المحترق انها تقلل المخاطر الطويلة المدى الناتجة عن النفايات الذرية ، كما انها تعطي البلوتونيوم الذي يستعمل في المفاعلات السريعة وهذا يؤدي بالتالي الى عدم الاعتماد للحصول على الطاقة على الموارد العالمية المحدودة والمتناقصة من البترول .

٣ - ١ - ٦ التخلص من النفايات المشعة :

تعتبر هذه المرحلة هي الحلقة الأخيرة من مراحل دورة الوقود وهي التخلص من النفايات المشعة الناتجة من تشغيل مفاعلات القوى والمنشآت النووية الأخرى المستخدمة في المراحل المختلفة من دورة الوقود النووي . وتحتوي النفايات الناتجة من عملية الانشطار النووي على مواد مشعة متعددة ذات فترات نصف عمر تتراوح من ثوان قليلة الى آلاف السنوات ، وتكون معظم النفايات المشعة الناتجة أثناء التشغيل العادي للمفاعل في صورة غازية أو

سائلة . وتنتج كمية قليلة من النفايات أيضاً بسبب امتصاص المواد الانشائية الداخلة في تركيب الوحدات للنيوترونات وكذلك نواتج التأكل والشوائب الموجودة في المبرد والمواد الأخرى التي تتعرض للاشعاع داخل قلب المفاعل .

ويمثل الوقود المستنفذ المصدر الرئيسي والمؤثر للنفايات المشعة ، وتبلغ الطاقة الاشعاعية ذروتها بعد ايقاف المفاعل مباشرة وعلى سبيل المثال فان طن واحد من الوقود المستنفذ يحتوي على ٣٠٠ مليون كوري طبقاً لمستوى طاقة التشغيل وفترة التشعيع للوقود ، وتتناقص هذه الطاقة الاشعاعية الى حوالي ٣٠٠ ألف طن كوري بعد ١٠ سنوات وذلك بسبب اضمحلال النظائر المشعة ذات أنصاف الأعمال القصيرة والمتوسطة . ومن المفروض أنه بعد فترة تبريد معينة للوقود المحترق في أحواض التخزين المؤقت بموقع المفاعل ينقل الى عملية اعادة المعالجة .

وعند اعادة معالجة الوقود المستنفذ فان النفايات ذات الاشعاعية العالية تفصل وتعالج وتحول الى مواد صلبة لامكان التخلص النهائي منها في أماكن مناسبة . والجدير بالذكر انه باعادة معالجة الوقود المحترق تقل مشكلة التخلص من النفايات المشعة كثيراً ، كما أن الأخطار الطويلة المدى تقل أيضاً نتيجة لنقص عناصر فوق اليورانيوم في النفايات . وتوجد عملية بديلة لعملية اعادة معالجة الوقود المحترق وهي تخزينه في أحواض داخل موقع المفاعل أو بعيداً عنه وهذا يتطلب دائماً اما زيادة سعة التخزين لهذه الأحواض لتكفي الوقود المحترق المتراكم سنوياً أو التخلص النهائي من عناصر الوقود ذاتها . وتعتبر عملية التخزين الدائم للوقود المحترق من المشاكل التي لم تحل بعد ، وهي موضع دراسة في الوكالة الدولية للطاقة الذرية وفي العديد من الدول . وان ايجاد الحل النهائي لهذه المشكلة يسبب كثيراً من الاهتمام والقلق ، ويتطلب الأخذ في الاعتبار امكانية التخلص من تلك النفايات في الطبقات الجيولوجية المختلفة وأيضاً دراسة التصفية طويلة المدى للوقود المحترق وما يترتب عليه في حالة

تصدع الحواجز المتعددة التي تفصل النفايات المشعة. ويعتبر موضوع مداولة النفايات المشعة لمنع حوادث تسرب الاشعاع وضمان التخلص منها بأمان من أهم المسائل الهامة الحاسمة التي يعتمد عليها مستقبل الطاقة النووية.

٣ ـ ٢ دورات الوقود النووي لنظم المفاعلات المختلفة:

أولا ـ نظم مفاعلات القوى كاملة الصلاحية:

يمكن تقسيم دورات الوقود المستعملة في نظم المفاعلات التي ثبتت صلاحيتها كاملة الى قسمين رئيسيين هما: ـ

٣ ـ ٢ ـ ١ دورة الوقود لليورانيوم الطبيعي:

ان نظام المفاعلات الوحيد المتوفر تجارياً في الوقت الحاضر الذي يستخدم فيه اليورانيوم الطبيعي كوقود هو نوع مفاعلات الماء الثقيل المضغوط. وتستخدم دورة وقود اليورانيوم الطبيعي أيضا في المفاعلات المبردة بالغاز المهدأة بالجرافيت التي تعمل الآن، غير انه قد أوقف بناء هذا النوع من المفاعلات.

٣ ـ ٢ ـ ٢ دورة وقود اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة:

تستعمل في نوعين من نظم المفاعلات المؤكدة الصلاحية والمتاحة تجارياً وهما مفاعل الماء العادي المضغوط ومفاعل الماء العادي المغلي.

ولكل من هاتين الدورتين الرئيسيتين توجد استراتيجيتان لدورة الوقود من الممكن اتباعهما.

٣ ـ ٢ ـ ٣ استراتيجية دورة الوقود التي يستخدم فيها الوقود لمرة واحدة:

في هذه الدورة لا تتم عملية اعادة معالجة الوقود المحترق أو المستنفذ وأيضاً لا توجد بالتالي عملية الارجاع أو اعادة الاستخدام لليورانيوم أو البلوتونيوم.

وفي حالة نظام مفاعلات الماء العادي فان عناصر دورة الوقود في هذه الاستراتيجية تشتمل على عملية استخراج خام اليورانيوم الطبيعي وعملية الطحن لفصل أكسيد اليورانيوم (يو$_{٣}$ أ$_{٨}$) ثم التحويل الى سادس فلوريد اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة حوالي ٣٪ يورانيوم ٢٣٥ ثم التحويل الى أكسيد اليورانيوم وتصنيع وحدات الوقود وتشغيل المفاعل، وأخيراً التخزين المؤقت للوقود المستنفذ في نفس موقع المفاعل ومن المتبع أن ينقل الوقود المستنفذ من مكان التخزين المؤقت لتخزينه نهائياً أو التخلص منه في منشآت خاصة.

وفي حالة مفاعلات الماء الثقيل حيث لا يستعمل الوقود المثرى فان عناصر دورة الوقود تعتبر أكثر بساطة عن دورة الوقود في مفاعلات الماء العادي وهي دورة الوقود الطبيعي، والعمليات المستخدمة في هذه الدورة هي نفس العمليات السابقة فيما عدا عملية الاثراء لليورانيوم.

٣ ـ ٢ ـ ٤ استراتيجية دورة الوقود باعادة استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم:

في هذه الدورة تتم ازالة الوقود المستنفذ من المخزن المؤقت الى وحدة اعادة المعالجة حيث تتم معالجته لفصل واستخلاص اليورانيوم والبلوتونيوم المتولد بالاشعاع أثناء وجود الوقود في قلب المفاعل ويكون البلوتونيوم المستخلص في صورة ثاني أكسيد البلوتونيوم «بلو أ$_{٢}$» وأيضاً اليورانيوم في صورة سادس فلوريد اليورانيوم. ويستعمل ثاني أكسيد البلوتونيوم المستخلص في عمليات الاثراء الأخرى وذلك بخلطه مع ثاني أكسيد اليورانيوم الطبيعي لتكوين أقراص الوقود من مخلوط الأكسيد التي يتم تصنيعها لوحدات وقود جديدة. أما سادس فلوريد اليورانيوم المستخلص والمثرى بنسبة صغيرة فانه يعاد اثراؤه الى درجة الاثراء المخصصة لعناصر وقود المفاعل. وعلى ذلك فان الشحنات التالية لوقود المفاعل تتكون من بعض وحدات الأكسيد المخلوط ووحدات أخرى من اليورانيوم المثرى. وتعتبر استراتيجية دورة الوقود التي يتم فيها ارجاع أو

اعادة استعمال اليورانيوم والبلوتونيوم ممكنة من الناحية الفنية في مفاعلات الماء العادي ومفاعلات الماء الثقيل، وتم استعمالها بنجاح في بعض المحطات النووية لتوليد القوى بالولايات المتحدة التي بها مفاعلات الماء العادي والتي تستخدم فيها وحدات الأكسيد المخلوط. وبالرغم من ذلك فانه نظراً لسياسة الولايات المتحدة النووية الجديدة في الوقت الحاضر، لا يسمح بفصل البلوتونيوم واعادة استعماله في دورة الوقود بالنسبة لمفاعلات محطات الطاقة النووية الموجودة في الولايات المتحدة أو المصدرة الى دول أخرى من مصانع أمريكية باتفاقيات ثنائية للتعاون مع الولايات المتحدة الأميركية.

ثانياً نظم المفاعلات المتقدمة:

يستخدم في كل نظم المفاعلات المتقدمة تقريباً اليورانيوم المزود بنسبة صغيرة أو عالية كوقود. وان استراتيجيات دورة الوقود المستعملة حالياً والتي تحت الدراسة في نظم المفاعلات المختلفة تشتمل على الآتي: ـ

أ ـ دورة وقود الثوريوم للمفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً أو المفاعلات السريعة المتوالدة أو المفاعلات الحرارية السريعة المتقدمة.

ب ـ دورة الوقود للمفاعلات السريعة المتوالدة.

٣ ـ ٢ ـ ٥ دورة وقود الثوريوم:

هذه الدورة تشتمل على استعمال الثوريوم ٢٣٢ كمادة خصبة لانتاج اليورانيوم ٢٣٣ الانشطاري واعادة المعالجة والاستخدام في دورة الوقود لليورانيوم ٢٣٣ الذي يتم فصله. ونتيجة لخصائص اليورانيوم ٢٣٣ النيوترونية الممتازة ووفرة مصادر الثوريوم الرخيصة والمنتشرة في العالم لأن استعمال الثوريوم دائماً يشد الانتباه وامكانية انتاج اليورانيوم ٢٣٣ الانشطاري من الثوريوم ٢٣٢ تمثل مصدراً اضافياً لانتاج الطاقة حيث ان

نسبة اليورانيوم ٢٣٥ الانشطاري والموجودة في اليورانيوم الطبيعي تعتبر صغيرة جداً .

ومن أهم المميزات الفنية لدورة وقود الثوريوم ـ يورانيوم ان لها نسبة تحويل عالية وعمر أطول للوقود وذلك بالمقارنة بدورة الوقود الحالية لليورانيوم ـ بلوتونيوم . وفي بعض تصميات المفاعلات المتوالدة الحرارية التي تستخدم الثوريوم كوقود من الممكن أيضاً توليد اليورانيوم ٢٣٣ بكمية كافية تمكن من الحصول على نظام التكرار الذاتي للدورة وادخال أي مادة مزودة اضافية . وعلى المدى الطويل يمكن القول بأن النجاح في تطوير المفاعلات التي تستخدم الثوريوم كوقود فانها سوف تقدم بديلا لخط تطوير المفاعلات السريعة المتوالدة وهذا يرجع أساساً لصغر كمية المادة الانشطارية اللازمة لكل ميجاوات من سعة القدرة الكهربائية . واذا أخذنا في الاعتبار وجود مصادر الثوريوم بصورة كبيرة وفي دول كثيرة والمميزات الكثيرة لدورة الوقود الخاصة بالثوريوم وتطورها فان هذا يمثل اتجاهاً هاماً لتحقيق طاقة نووية طويلة الأجل وقابلة للتنافس مع غيرها من مصادر الطاقة .

٣ ـ ٢ ـ ٥ ـ ١ تطبيق دورة وقود الثوريوم في انواع المفاعلات المختلفة :

لقد حظى استعمال وتطوير الثوريوم كوقود بكثير من الاهتمام بالنسبة للتصميات القائمة فعلا للمفاعلات الحرارية ويعتبر نظام المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة بالغاز من أكثر النظم صلاحية لاستخدام الثوريوم ، كما ان استعمال الثوريوم بالنسبة لمفاعلات الماء العادي أو الثقيل والمفاعلات السريعة المتوالدة ممكن من ناحية الصلاحية الفنية . وبالاضافة الى ذلك فان بعض المفاهيم المتقدمة للمفاعل وعلى وجه الخصوص تطوير توالد الثوريوم الحراري كان محل اعتبار الدول الكثيرة التي وجهت جزءاً كبيراً من مجهوداتها في البحث والتطوير الى الدراسات الخاصة بدورة الثوريوم . وقد كشفت كل نتائج الدراسات والتحليلات التي أجريت على استعمال الثوريوم كوقود والتي

نشرت في العديد من التقارير عن تناقص الحاجة لخام اليورانيوم في جميع الحالات.

وتتلخص خطوات دورة وقود الثوريوم التي تستعمل في نظم المفاعلات ذات درجات الحرارة العالية والمبردة غازياً كالآتي: ـ

يتم أولاً استخراج خام اليورانيوم ثم يمر بالعمليات ا لعادية سالفة الذكر حتى خطوة الاثراء وفيها يثرى الى نسبة تزيد على ٩٠٪ من يو- ٢٣٥ ويحول الى صورة كربيدية. ويستخرج أيضاً خام الثوريوم ويتم طحنه وتحويله الى صورة كربيدية ثم يجمع اليورانيوم المثرى بنسبة عالية مع كربيد الثوريوم في كتل من الكربون لشحن قلب المفاعل. وبعد عملية التشعيع في المفاعل فان الوقود المستنفذ تتم معالجته ثانية لاستخلاص اليورانيوم ٢٣٥ الغير محترق وأيضاً اليورانيوم ٢٣٣ المتولد من الثوريوم، ويستعمل الأخير في عمليات الاثراء والشحن التالية أما النفايات الناتجة من المعالجة فيتم تحويلها الى الصورة المناسبة للتخلص النهائي منها. وان برامج التطوير الخاصة بمفاعلات درجات الحرارة العالية والمبردة بالغاز والتي تستعمل دورة وقود الثوريوم تجري بصفة أساسية في الولايات المتحدة والمانيا الغربية وأيضاً دول المجموعة الاقتصاديةالأوروبية، في المشروع المعروف باسم مفاعل «دراجون» التجريبي. وقد أقيم في المانيا الغربية بالقرب من بلدة يوليش مفاعل قوى تجريبي آخر معروف برمز (AVR) وقدرته ١٥ ميجاوات كهربائي ويعمل منذ عام ١٩٦٥، وتستخدم فيه جزئيات كروية مغطاة كوقود مكونة من اليورانيوم وكربيد الثوريوم الموزعة في قالب من الجرافيت. وقد أظهرت الخبرة في تشغيل هذا المفاعل بعض الصعوبات الفنية التي تتطلب مزيداً من البحث والتطوير وعلى الأخص طرق تصنيع وتناول الوقود الذي يحتوي على اليورانيوم والثوريوم وأيضاً اعادة المعالجة بالاضافة الى تكنولوجية اعادة استخدام المواد الانشطارية من الوقود المحترق. ومثل آخر من هذه المفاعلات المحطة النموذجية الموجودة في الولايات

المتحدة والمعروفة باسم (Peach Bottom-1) والتي تعمل منذ عام ١٩٦٧ بطاقة ٤٠ ميجاوات ويستعمل بها اليورانيوم بنسبة اثراء كاملة (حوالي ٩٣٪) مع وقود في صورة يورانيوم مع كربيد الثوريوم وموزعة في قالب من الجرافيت.

أما بالنسبة لمفاعلات الماء الثقيل فان الاهتمام بدورة وقود الثوريوم موجود أساساً بكندا وفرنسا. ولكن بالرغم من الأبحاث والدراسات التي أجريت لتطوير دورة وقود الثوريوم فلا توجد خطط واضحة لتطبيقها في مفاعلات الماء الثقيل ولا في مفاعلات الماء العادي. وتعتبر دورة الثوريوم - يورانيوم ٢٣٣ صالحة أيضاً للمفاعلات سريعة التوالد. وقد درست امكانية استخدام دورات وقود مخلوط من الثوريوم واليورانيوم وذلك فيما يتعلق بتطوير هذه المفاعلات في الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة وبعض الدول الأخرى وذلك للمميزات الفنية والاقتصادية لهذه الدورة ومنها صغر الكتلة الحرجة ومعاملات التوالد المرتفعة بالاضافة الى التنقيص الفعلي في متطلبات وحدات الفصل لعمليات اثراء اليورانيوم.

٣ - ٢ - ٦ دورة وقود المفاعلات السريعة المتوالدة:

بالنسبة لدورة الوقود الخاصة بالمفاعلات السريعة المتوالدة والتي تستخدم المعدن السائل كمبرد فان عملية اعادة المعالجة والارجاع أو اعادة الاستعمال للمواد الانشطارية ليست اختيارية كما هو الحال في مفاعلات الماء العادي أو الثقيل. ولكنها تمثل العناصر الأساسية وجزءاً مكملا لدورة الوقود. ويعتمد تطور وتقدم المفاعلات السريعة المتوالدة على دورة للبلوتونيوم. وتحتوي الشحنة الأولى للوقود في المفاعلات السريعة المتوالدة على اليورانيوم المثرى بدرجة عالية أو البلوتونيوم المستخلص من الوقود المستنفذ في مفاعلات الماء العادي أو الماء الثقيل. وبعد ذلك فان الوقود اللازم للتشغيل يغذى أساساً من البلوتونيوم الناتج من عملية التوالد. وعند الوصول الى الحالة المستقرة لدورة الوقود فان اليورانيوم المتخلف من اليورانيوم النقي أو من بقايا الاثراء يحول الى ثاني

أكسيد اليورانيوم يو أ$_2$ ويخلط مع ثاني أكسيد البلوتونيوم وثاني أكسيد اليورانيوم المستخلصين لتصنيع وقود من الأكسيد المخلوط. وتعاد معالجة الوقود المستنفذ بعد التشعيع في المفاعل لاستخلاص وفصل البلوتونيوم واليورانيوم من نواتج الانشطار المشعة. ويتم التخلص وفصل البلوتونيوم واليورانيوم من نواتج الانشطار المشعة. ويتم التخلص من النفايات المشعة بعد تحويلها الى صورة مناسبة للتخلص النهائي. والجدير بالذكر ان دورة وقود المفاعلات السريعة المتوالدة يتم تطويرها حالياً في فرنسا بالمشروع الضخم المعروف باسم (Super Phenix) وكذلك في الاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة أما برنامج تطوير المفاعلات السريعة المتوالدة في الولايات المتحدة فقد أبطىء نتيجة للسياسة النووية الأمريكية الجديدة.

٣ ـ ٣ الاتجاهات الرئيسية والاختيارات لدورات الوقود للدول النامية:

من خلال المناقشات الجارية حول الموضوعات المتصلة بدورات الوقود النووي والدراسات التي أجريت في نطاق البرنامج الدولي لتقييم دورة الوقود (INFCE) يبرز عدد من الجوانب الرئيسية التي لها أهمية خاصة بالنسبة للدول النامية التي لديها برامج تطوير نووية أو المقبلة على تطوير مثل هذه البرامج. وتتضمن المشاكل التي تواجه الدول النامية المقبلة على تنفيذ برامج نووية، في سبيل اتخاذ القرارات المتعلقة بدورة الوقود الموضوعات الرئيسية الآتية: ـ

أ ـ الاختبار بين دورات الوقود لليورانيوم المثرى أو لليورانيوم الطبيعي.

ب ـ ضمان استمرار توريد المواد النووية والخدمات المتصلة بدورة الوقود.

ج ـ تناول العمليات الخلفية لدورة الوقود وتشمل اعادة المعالجة والتصرف في الوقود المستنفذ والتخلص من النفايات المشعة.

٣ ـ ٣ ـ ١ الاختبار بين دورات الوقود لليورانيوم الطبيعي والمثرى:

يعتبر اختيار نوع المفاعل ودورة الوقود أحد القرارات الهامة التي تواجه

الدول النامية وهي بصدد مباشرة وتطوير برامجها للطاقة النووية، خاصة بالنسبة للمحطة النووية الأولى، وكذلك للمحطات التالية على المدى الطويل لتطوير خططها للطاقة النووية. وحيث انه من المحتم أن يتم اختبار أول مفاعل نووي من بين أحد الأنظمة القائمة المثبتة والكاملة الصلاحية الفنية والاقتصادية فان القرار الخاص بهذا الاختيار يعتبر من أصعب وأهم القرارات التي يلزم اتخاذها منذ البداية فاما أن تكون دورة الوقود لليورانيوم الطبيعي أو تكون دورة بها عملية اثراء لليورانيوم. ويعني ذلك اختيار نوع المفاعل، فاما أن يكون من مفاعلات الماء العادي أو الماء المغلي أو الماء المضغوط التي يستخدم بها يورانيوم مثرى بنسبة صغيرة أو ان يكون من مفاعلات الماء الثقيل التي تستعمل اليورانيوم الطبيعي. وان الميزة الأساسية لنظام اليورانيوم الطبيعي هي انه يوفر امكانية الاكتفاء الذاتي وامكانية عدم الاعتماد على مورد خارجي للوقود. ومن اليسير نسبياً الحصول على اليورانيوم الطبيعي من عدد من الموردين في الأسواق المفتوحة وفي العديد من الدول وبالاضافة الى ذلك فان وجود كميات كبيرة من ترسيبات خام اليورانيوم في دولة ما يسمح لها بموارد دائمة لاحتياجاتها من اليورانيوم في نطاق برنامجها النووي القومي بدون الاعتماد على مورد أجنبي أو على السوق المتقلبة للامدادات والأسعار والعوامل السياسية والتي تخضع للسياسات النووية للدول الموردة. وبالطبع فان تطوير الخامات المحلية من اليورانيوم الطبيعي ليكون وقوداً نووياً يتطلب الحصول على سر المهنة وامكانيات فنية وتكنولوجية لكيفية استخراج وطحن الخام ولتحويله كيميائياً الى ثاني أكسيد اليورانيوم ولتصنيع وحدات الوقود منه لتشغيل المفاعلات. ويمكن الحصول على هذه الامكانيات الى حد ما من مختلف الموردين وعلى المستوى التجاري وذلك بعكس المعلومات عن العناصر الأخرى لدورة الوقود مثل الاثراء واعادة المعالجة والتي تشتمل على تكنولوجيات معقدة وما زالت تعتبر على درجة كبيرة من السرية والحساسية ومحظور تداولها.

ومن ناحية أخرى فان الاعتبارات الاقتصادية تشير الى أن نظام المفاعلات التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة تعتبر اقتصادية أكثر من المفاعلات التي تستخدم اليورانيوم الطبيعي سواء في رأس المال المستثمر أو تكاليف توليد الكهرباء. الا أن هذه الميزة الاقتصادية ترتبط مع ضرورة الحاجة الى عملية اثراء اليورانيوم اللازم كوقود للمفاعل وتتوفر عمليات الاثراء لليورانيوم من عدد قليل من الموردين وبالتالي فانها يمكن أن تخضع لظروف مختلفة بالاضافة الى الصعوبات التي يمكن مواجهتها بسبب عدم توفر السعة الانتاجية الكافية لمنشآت الاثراء لتلبية الاحتياجات المختلفة لخدمات الاثراء.

وفي الواقع فان الحصول على خدمات الاثراء يتطلب التعاقد عليها قبل وقت استخدامها بفترة زمنية طويلة تصل الى ثمان أو عشر سنوات، كما ان الضمانات للامدادات الطويلة المدى تتطلب الارتباط مع مورد واحد دون أية ضمانات للأسعار في المستقبل. وهناك عوامل أخرى يلزم أخذها في الاعتبار عند الاختيار لنوع المفاعل وتتضمن احتمالات المساهمة المحلية، وشروط التمويل المتاحة، والضمانات والتعهدات للتوريد على المدى الطويل من الوقود وخدمات دورة الوقود والتدريب والاعداد للقوى البشرية في الدولة المستوردة.

ويجب ادراك الحقيقة بأن تطوير برنامج للقوى النووية يعتمد على اقامة سلسلة من المفاعلات من نفس النوع يوفر احتمالات أكبر لزيادة المساهمة المحلية، ويوفر أسلوباً أكثر استقراراً للتطوير المحلي للتكنولوجيا، وتكوين المهندسين المؤهلين والمهارات البشرية. ولهذا السبب فان الموازنة الدقيقة بين العوامل المختلفة تعتبر هامة وضرورية جداً قبل اتخاذ القرار باختيار نوع المفاعل للمحطة النووية الأولى. ومن الصعب التعميم هنا او استخلاص توصيات محددة بالنسبة لهذا الاختيار الصعب والهام بين اليورانيوم المثرى واليورانيوم الطبيعي.

وفي نهاية الأمر ، فان القرار هو قرار يعتمد على سياسة نووية معينة ويعتمد على ظروف مختلفة تتعلق بالحالة الخاصة لكل دولة . ويمكن أن يستند القرار في بعض الحالات الى اعتبارات اقتصادية بحتة على أساس المقارنة والمنافسة الاقتصادية بين استخدام اليورانيوم المثرى أو الطبيعي . كما يمكن أن يتأثر القرار أيضاً بالترتيبات الخاصة بالتمويل ، أو بشروط ذات افضلية بالنسبة لتوريد الوقود وخدمات دورة الوقود ، أو بتوفير موارد محلية لليورانيوم . وقد اختارت بعض الدول النامية مثل الهند والارجنتين نظام اليورانيوم الطبيعي لبرامجها النووية . بينما اختارت دول نامية أخرى مثل يوغوسلافيا ، وكوريا ، والفيليبين ، ومصر نوع المفاعلات باليورانيوم المثرى . ومن ناحية أخرى بينما تم اقامة المحطة النووية الأولى من نظام اليورانيوم الطبيعي في الباكستان ، فانها تدرس الآن استخدام نظام اليورانيوم المثرى ، لمحطاتها النووية المستقبلية .

٣ ـ ٣ ـ ٢ ضمانات الحصول على احتياجات دورة الوقود :

تم فحص ودراسة مختلف الوسائل للحصول على ضمانات الامدادات للوقود النووي وخدمات دورة الوقود للمفاعلات بالدول النامية بواسطة مجموعة العمل الثالثة للبرنامج الدولي لتقييم دورة الوقود (INFCE) . وتضمنت الاقتراحات المختلفة ايجاد الترتيبات لتأمين تدعيم الامدادات على مستوى وطني أو اقليمي أو على النطاق العالمي . ومن الترتيبات التنظيمية أو التأسيسية التي تعتبر مناسبة لذلك هي اقامة بنك دولي للوقود النووي ، وتوفير منشآت لدورة الوقود عن طريق اقامة مراكز اقليمية أو مراكز تشترك فيها دول متعددة . وعن طريق مثل هذه الترتيبات ، اذا تم الاتفاق على اقامتها فانه يمكن أن يتوفر الوقود وخدمات دورة الوقود على أسس من عدم التفرقة وضمانات لتأكيد استمرار الامدادات .

٣ ـ ٣ ـ ٣ الطرف الخلفي لدورة الوقود :

من النواحي الرئيسية التي تثير القلق بصفة خاصة لدى الدول النامية هي عمليات المداولة للطرف الخلفي لدورة الوقود . وتتضمن الاختيارات المتاحة لمداولة الوقود المستنفذ سواء كان من اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المثرى ما يلي : ـ

أ ـ التوسع في تخزين الوقود المستنفذ إما في موقع المفاعل ، أو في مواقع أخرى مناسبة يتم اختيارها بعيداً عن موقع المفاعل ، هذا مع عدم اجراء اعادة المعالجة للوقود المستنفذ أو المحترق .

ب ـ اقامة مركز وطني لدورة الوقود لاجراء عمليات اعادة المعالجة ، وتصنيع الوقود ، واعادة استخدام اليورانيوم والبلوتونيوم المستخلصين من الوقود المحترق .

ج ـ اقامة مركز اقليمي أو متعدد الدول لدورة الوقود يخدم عدة دول لاجراء عمليات اعادة المعالجة والتصنيع للوقود ، واعادة استخدام اليورانيوم والبلوتونيوم المستخلصين من الوقود المحترق ، بارجاعهما للدورة .

د ـ الاستعانة بخدمات خارجية لعمليات تصنيع الوقود واعادة المعالجة ، مع احتمال عمل ترتيبات لتخزين البلوتونيوم المستخلص واعادة استخدامه بعد ذلك بارجاعه للدورة ، أو باستخدامه في المفاعلات السريعة المتوالدة .

وبالنسبة للمراحل الأولى لتطوير البرنامج النووي في دولة نامية ، فان الاختيار الأخير وهو بالاستعانة بخدمات خارجية لعملية اعادة المعالجة يمثل الاتجاه العملي المتاح في الوقت الحاضر . ومثل هذه الخدمات لاعادة المعالجة متاحة الان من فرنسا والمملكة المتحدة . وان استخدام البلوتونيوم واليورانيوم

الذي يتم فصلهما يتوقف على الاتفاق الذي يتم بين المورد والمستخدم ومقدم الخدمة لاعادةالمعالجة.

وهناك احتمالات متعددة لاستخدام كل من اليورانيوم أو البلوتونيوم المستخلص. فيمكن تخزينه في أحد المخازن الدولية للبلوتونيوم عندما يتم اقامتها وذلك لتوفير الاحتياجات في المستقبل للجهة المستهلكة وذلك لاعادة استعمالها في دورة المفاعلات الحرارية أو في المفاعلات السريعة المتوالدة. أو يمكن أن يتم عرضه على جهات مستهلكة أخرى بمقابل اما بالتعويض المالي أو في صورة وقود جديد، أو يمكن أن يتم اعادة النواتج التي يتم فصلها في صورة وحدات كاملة التصنيع لاستعمالها كوقود جديد.

وان الاختيار الخاص باقامة مركز لدورة الوقود لدول متعددة يوفر امكانيات لاقامة منشآت كبيرة وبالتالي تحقيق الاقتصاديات الأفضل للأحجام الكبيرة، كما انه يتيح ايجاد ترتيبات تسمح للمشتركين تأمين الامدادات عن طريق مشاركتها في ملكية مثل هذه المراكز.

أما الاختيار الأول فينطوي على مشاكل معقدة للتخزين الموسع أو التخلص النهائي للوقود المستنفذ ويتوقف الاختيار الثاني لدرجة كبيرة على حجم البرنامج النووي، وعلى اعتبارات اقتصادية، وعلى توفير الامكانيات المحلية والقوى البشرية التي ستكون لازمة لاقامة مركز وطني لدورة الوقود.

الباب الرابع

اقتصاديات القوى النووية

٤ - ١ مقدمة :

بعد الارتفاع الكبير في أسعار البترول التي وصلت الى ١٩دولاراً للبرميل الواحد (وقت كتابة هذا التقرير) ، بما يمثل ستة أضعاف ما كان عليه سعر البرميل عام ١٩٧٣ ، أصبحت المحطات النووية بديلا منافساً من الناحية الاقتصادية للمحطات التي تستخدم البترول وغيره من أنواع الوقود التقليدي ، ولا بد أن ننوه هنا الى أن اقتصاديات القوى النووية لا يمكن الحكم عليها الا في ضوء التحاليل الاقتصادية التفصيلية ، وتقييم مشروعات محددة ، في حالات معينة وتحت ظروف تم تحديدها بدقة . وهذا التنويه على قدر كبير من الأهمية نظراً الى التغيرات المستمرة والمتلاحقة في الظروف الاقتصادية وما يلاحظ حالياً من الزيادة المستمرة في الاستثمارات اللازمة لاقامة المحطات النووية ولدورة الوقود الخاصة بها . ومن الضروري الإشارة هنا الى أن البيانات والتحاليل الشاملة المتاحة والمنشورة عن اقتصاديات محطات القوى النووية ، تعتبر سارية فقط على الحالات المحددة التي طبقت عليها ، وفي خلال الفترة الزمنية التي أجريت فيها . وعلى ذلك فان هذه البيانات والتحاليل تقتصر فائدتها على الاستعانة بها للاسترشاد فقط وليست لاتخاذ أية قرارات أو أحكام نهائية .

٤ ـ ٢ قيود التقييم الاقتصادي :

ان النظرة الفاحصة لنتائج التقييات الاقتصادية العديدة والشاملة التي تم اجراؤها ، والمتاحة في المنشورات العالمية ونشرات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، تبين بوضوح أن اقتصاديات القوى النووية هي من العلوم البعيدة عن الدقة فهناك العديد من العناصر التي لا يمكن التحقق منها وتشمل تقدير رأس المال المستثمر ، وتكاليف دورة الوقود ، والمتغيرات الاقتصادية المختلفة ، والفروض المستخدمة في الحسابات والتحاليل الاقتصادية .

وقد تؤدي الفروق في نوع وحجم المحطات ، ومقدار سريان تقديرات التكاليف المستخدمة ، والتحديد الدقيق لنطاق المهام التي تشملها هذه التقديرات الى اعطاء أحكام مضللة يكون غالباً من الصعب تحديدها أو التأكد منها . وطالما تكون التقديرات التي تقدمها الشركات الصانعة للمحطات النووية لتكاليف المحطات النووية أقل بكثير من التكاليف الفعلية . وقد لا تتضمن هذه التقديرات النطاق الكامل للتوريدات من المعدات والمواد ، أو كل عناصر تكاليف التشييد والعمالة . هذا بالاضافة الى أن مقارنة أسعار توليد الكهرباء من المحطات النووية مع غيرها من المحطات التي تستخدم البترول أو غير ذلك من البدائل ، لا بد وأن تدرس تحت ظروف تشغيل الشبكة الكهربائية التي سترتبط معها هذه المحطات ، وليس بالنسبة لمحطة واحدة معزولة فقط . لكل هذه الأسباب فقد كان هناك دائماً ، كما سوف يستمر ، طيف واسع من الأحكام المتباينة بالنسبة للمنافسة الاقتصادية لمحطات القوى النووية . وتختلف أراء الخبراء اختلافاً كبيراً ، وتتراوح بين رأيين متناقضين تماماً ، فهناك رأي يتطرف في التأكيد بأن المحطات النووية قد ثبتت قدرتها على المنافسة الاقتصادية ، ويجب اعتبارها بديلا قابلا للتطبيق ليحل محل المصادر الأخرى لانتاج الطاقة في المستقبل .

أما الرأي الآخر ، فيوضح أن الاستثمارات الأساسية اللازمة لبناء

المحطات النووية ما زالت مرتفعة جداً اذا ما قورنت بالمحطات التقليدية، وانها ترتفع بحدة وبمعدلات أكبر. كما ترتفع أيضاً تكاليف الوقود النووي ودورة الوقود وخدماتها، وتخضع أسعارها لقرارات من جانب واحد بما لا يمكن معه التحكم فيها أو تغييرها. وفي أغلب الحالات لا تُعطى ضمانات أو تعهدات بتوريد الوقود أو تقديم خدمات دورته على المدى الطويل.

ولعل الحقيقة تكمن في مكان ما بين هذين الرأيين المتطرفين. ويجدر بنا التأكيد هنا بأن التكاليف الحقيقية أو التقييمات الاقتصادية لأي مشروع لا يمكن التثبت منها الا على أساس عطاءات محددة وشاملة، تحتوي على البيانات التفصيلية لجميع عناصر التكاليف وعلى تحديدها بدقة.

٤ ـ ٣ عناصر تكلفة توليد القوى النووية:

يتم عادة التقييم الاقتصادي لمحطات القوى النووية على أساس المقارنة بين تكلفة انتاج وحدة الطاقة الكهربائية، كيلوات ـ ساعة، من المحطة النووية ومن احدى البدائل من المحطات الحرارية، «بترول أو فحم» بنفس الحجم وتحت نفس الظروف السائدة، ونفس المتغيرات الاقتصادية والفروض المستخدمة في الحسابات.

وعناصر التكلفة المستخدمة في هذه الحسابات لسعر الطاقة المولدة تتضمن البنود الثلاث الآتية: ـ

أ ـ رأس المال المستثمر.
ب ـ تكاليف دورة الوقود.
ج ـ تكاليف التشغيل والصيانة.

وهذه العناصر الرئيسية للتكلفة تتوقف على عدة عوامل تتضمن نوع وحجم المحطة، والتغيرات الناجمة عن تصاعد الأسعار والتضخم في دولة

الشركة الصانعة ، والتعديلات لتناسب الظروف المحلية في الدولة التي يزمع اقامة المحطة النووية فيها .

٤ - ٣ - ١ رأس المال المستثمر : :

لقد تم تلخيص تقديرات رأس المال المستثمر ، من الخبرة المكتسبة في الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية ، في بحث أجراه « ثويت » في النشرة الدورية للوكالة الدولية للطاقة الذرية ، العدد الأول من المجلد العشرين والصادر في فبراير ١٩٧٨ .

وهناك تعاريف مختلفة لتكاليف الانشاء تقوم المنظمات المختلفة باستخدامها ولأنواع مختلفة من الدراسات . وحتى تسهل المقارنة بين الخبرة في التكاليف والتقديرات فان البيانات المقدمة قد بنيت على التعريف الذي تبنته الوكالة الدولية للطاقة الذرية لرأس المال المستثمر في دراستها الاقتصادية وهو « مجموع التكاليف المباشرة وغير المباشرة لوحدة القوى بأكملها ، بما في ذلك تكاليف المالك والمصروفات الطارئة وتكاليف الفوائد أثناء فترة الانشاء » .

ويتم استبعاد تكلفة شحنة الوقود الأولى ، وتكلفة الماء الثقيل (ان وجد) والضرائب والجمارك وتصاعد الأسعار . وتلخص الجداول أرقام ١٧ و١٨ بعض قيم التكاليف الأساسية لرأس المال وتقديراتها الحالية . وبفحص البيانات في هذين الجدولين يتضح ان هذه التكاليف لوحدة القوى الكهربائية المكونة من مفاعلات الماء الخفيف قد تضاعفت حوالي ست مرات خلال فترة زمنية قدرها ثمان سنوات . هذا بالاضافة الى ما نلاحظه من الاختلاف الكبير والتباين على مدى واسع في ارقام تكلفة انشاء هذه الوحدة .

ولعل الأسباب الأساسية لهذا الارتفاع الكبير في التكلفة تكمن في العوامل الرئيسية الآتية ، مرتبة حسب أهميتها : ـ

جدول (١٧) استثمارات رأس المال لمحطات القوى النووية

نوع المحطة وموقعها	الماء العادي المغلي (اويستركريك)	الماء الثقيل المضغوط (أتوشا)	الماء الثقيل المضغوط (راجستان)	الماء العادي المضغوط (انجرا)
القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	٦٤٠	٣٢٠	٢٠٧	٦٢٦
تاريخ المرجع	١٩٦٣	١٩٦٨	١٩٧٦	١٩٧٥
ظروف دولة الترخيص	الولايات المتحدة	الأرجنتين/ المانيا الغربية	الهند	البرازيل/ الولايات المتحدة
التكاليف المباشرة	-	-	٥٨	٢٧١
التكاليف غير المباشرة	-	-	٢٢	٥٤
المجموع	٦٠	٧٠	٨٠	٣٢٥
تكاليف المالك	٣	١٠	١٤	٥٤
الطوارىء ، وغيرها	١	مشمولة	مشمولة	مشمولة
الفوائد	٤	مشمولة	٣٠	١٣٢
التكلفة الكلية (مليون دولار أمريكي)	٦٨	٨٠	١٢٤	٥١١
تكلفة الوحدة المركبة (دولار للكيلووات كهربائي)	١٠٦	٢٥٠	٦٠٠	٨١٦

جدول (١٨)   تقدير رأس المال المنصرف لبعض المحطات النووية الحديثة

نوع المحطة	الماء المضغوط	الماء المضغوط	الماء المضغوط	الماء المغلي	الماء المضغوط	الماء المضغوط	الماء الثقيل المضغوط	الماء الثقيل المضغوط
القدرة الكهربائية الصافية (ميجاوات كهربائي)	٦٠٠	٩٠٠	١١٣٩	١١٩٠	١١٠٠	١٢٣٠	٦٣٨	١١٠٠
تاريخ المرجع	١٩٧٦	١٩٧٦	١٩٧٦	١٩٧٦	١٩٧٦	١٩٧٧	١٩٧٦	١٩٧٦
ظروف دولة الترخيص	الولايات المتحدة	الولايات المتحدة	الولايات المتحدة	الولايات المتحدة	الولايات المتحدة	المانيا الغربية	كندا	الولايات المتحدة
التكاليف المباشرة	٣٢٥	٣٧٨	٤٢١	٤٣٢	-	-	٢٥٧	٤٩١
التكاليف غير المباشرة	١١٥	١٣٦	١٤٨	١٥١	-	-	١١٥	١٥٥
المجموع	٤٤٠	٥١٤	٥٦٩	٥٨٣	٦٥٥	٨٢٠	٣٧٢	٦٤٦
تكاليف المالك	٥٠	٦٠	٦٥	٦٥	٧٠	٨٠	٥٠	٧٠
الطوارىء وغيرها	٣٥	٤٠	٤٥	٤٥	٥٠	مشمولة	٣٠	٥٠
الفوائد	١٧٠	١٩٦	٢٢٠	٢٢٢	٢٥٠	٢٥٠	١٤٥	٢٤٥
التكاليف للكلية (مليون دولار)	٦٩٥	٨١٠	٩٠٠	٩١٥	١٠٢٥	١١٥٠	٥٩٨	١٠١١
تكاليف الوحدة المركبة دولار (لكل كيلوات)	١١٥٨	٩٠٠	٧٩٠	٧٧٠	٩٣٠	٩٣٥	٩٣٧	٩٢٠

أ ـ **المتطلبات التنظيمية**: ان الاعتبارات المتصلة بأمان المفاعلات وآثارها المحتملة على البيئة تنعكس على الطلبات المتزايدة من المواد الرئيسية وزيادة التكاليف غير المباشرة الناتجة عن اطالة الفترات الزمنية للتنفيذ، وعن التعقيدات الزائدة لاستيفاء متطلبات تنظيات الأمان. وعن زيادة اعداد المهندسين المطلوبين للأعمال الانشائية ولمواجهة متطلبات تأكيد الجودة والرقابة عليها. ويصل مدى تحليل الآثار المتجمعة لمتطلبات التنظيم والأمان النووي الى التقرير بانها قد زادت من تكاليف انشاء المحطات النووية الى الضعف تقريباً وذلك منذ السنوات الاولى للقوى النووية التجارية.

ب ـ **التضخم وفوائد رأس المال خلال الانشاء**: ترتفع معدلات التضخم وفوائد رأس المال ارتفاعاً كبيراً منذ السنوات الأولى للقوى النووية. وبالنظر الى الفترات الزمنية الطويلة اللازمة لتصميم وتنفيذ المحطات النووية فان هذا العامل يؤثر أيضاً ويساهم في الارتفاع الحاد في التكاليف الأساسية المطلوبة للمحطة.

ج ـ **الآثار التجارية**: كانت الشركات الصانعة للمفاعلات، في السنوات الأولى للقوى النووية على استعداد لقبول قدر من المخاطرة التجارية للدخول في سوق جديدة ذات احتمالات جيدة مما أدى الى بعض الخسائر المالية الكبيرة لبعض الشركات التي قبلت عقوداً منخفضة القيمة. وقد رفعت الشركات من التكاليف الأساسية الحالية لتغطي كافة المخاطر التجارية وذلك بعد الوضع المميز الذي وجدت فيه الشركات نفسها بعد الارتفاع الكبير في أسعار البترول مما أعطى للمحطات النووية وضعاً رائداً من القدرة على المنافسة الاقتصادية.

ويتضح من الملخص المذكور عالية لتقدير التكاليف والخبرة، ان التكاليف الأساسية قد ارتفعت من ١٨٠ ـ ٢٠٠ دولار للكيلوات المركب عام ١٩٧٠ الى

١٢٠٠ ـ ١٤٠٠ دولار بالنسبة للمشروعات الجارية.

وتبين البيانات أن تكاليف اقامة محطات من نوع مفاعلات الماء المغلي تكاد تتساوى مع تكاليف اقامة محطات من نوع مفاعلات الماء المضغوط، ويقدر ان تكلفة اقامة محطات من نوع مفاعلات الماء الثقيل تزيد بحوالي ١٥٪ عنها في حالة محطات الماء العادي، بافتراض نفس الموقع، وتطبيق نفس معايير الترخيص. ويجدر الاشارة هنا الى أهمية أثر معايير الترخيص على تكاليف الوحدة المركبة، فعلى سبيل المثال لو طبقت معايير الترخيص الكندية التي كان معمولا بها عام ١٩٧٦ على محطة نووية بقدرة ٦٠٠ ميجاوات كهربائي من نوع مفاعلات الماء الثقيل المضغوط فان تكاليفها سوف تكون أقل بدرجة كبيرة عن تكاليف محطة بنفس القدرة من نوع مفاعلات الماء المضغوط، وتخضع لمعايير الترخيص الأمريكية السائدة خلال نفس العام.

٤ ـ ٣ ـ ٢ تكاليف دورة الوقود:

من الخصائص المميزة لمحطات القوى النووية أن تكلفة دورة الوقود تسهم بقدر ضئيل في تكاليف التوليد للطاقة الكهربائية وتبلغ حوالي ٢٠ ـ ٣٠٪ للمفاعلات كاملة الامكانيات والصلاحية هذا بالمقارنة الى نسبة مساهمة سعر البترول في المحطات الحرارية والتي تصل الى حوالي ٧٠٪ وتعتبر هذه الميزة السبب الرئيسي الذي تتفوق به محطات القوى النووية في منافستها الاقتصادية مع المحطات الحرارية، وذلك بالرغم من الارتفاع الكبير في رأس المال المنصرف للمحطة النووية والذي يصل في بعض الحالات الى ضعف قيمته للكيلوات المركب في المحطات التقليدية التي تعمل بالبترول.

وخلال السنوات القليلة الماضية ارتفعت تكاليف جميع مراحل دورة الوقود والمنتظر أن يستمر هذا الارتفاع في المستقبل. ولا شك أن هذا يجعل من الصعب جداً التكهن بتكاليف دورة الوقود للمستقبل القريب أو للمستقبل

البعيد على طول عمر التشغيل للمحطة النووية. وبالاضافة الى ذلك فان عقود دورة الوقود التي تتصل بالمواد والخدمات لا تتضمن التزاماً بالأسعار المستقبلة ولا بمعدلات زيادة معينة لها.

ويمكن تلخيص التقديرات الحالية لتكاليف دورة الوقود والمأخوذة من البيانات المنشورة حديثاً، فيما يلي: ـ

٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ تكاليف اليورانيوم:

على نقيض ما هو الحال في المحطات الحرارية لا يمثل سعر المادة الخام النووية على شكل أكسيد اليورانيوم الطبيعي (يو$_{٣}$ أ$_{٨}$) أو على شكل العجينة الصفراء سوى جزء صغير من السعر الكلي للوقود النووي، لا يتعدى ٨ ـ ١٠٪، أما باقي التكاليف فتكمن في المراحل المختلفة للدورة الكاملة للوقود النووي. وحتى عام ١٩٧٣، ظل سعر اليورانيوم، في شكل العجينة الصفراء (يو$_{٣}$أ$_{٨}$)، مستقراً حول ٧ ـ ٨ دولارات للرطل الا أن سعر الرطل ارتفع حتى وصل في أوائل عام ١٩٧٨ الى حوالي ٤٣ دولارا. ومع ذلك فان هذا الارتفاع الذي يصل الى حوالي ستة أضعاف لم يكن له سوى أثر بسيط على التكلفة الكلية للوقود النووي، بدرجة تقل كثيراً عما هو الحال بالنسبة للبترول. ونظراً الى الارتفاع الحاد في أسعار البترول، فقد اتسع الفرق كذلك نتيجة لتأثير سعر البترول على زيادة تكلفة التوليد اذا ما قورن بتأثير سعر اليورانيوم في هذه التكلفة. ففي أواخر عام ١٩٧٣ كان فرق السعر في التكلفة حوالي ٣ر٥ ملليم للكيلوات ـ ساعة ثم ارتفع الى ١٦ر٥ ملليم للكيلوات/ساعة في يناير ١٩٧٨. وعلى الرغم من هذا الارتفاع في فرق تأثير كل من البترول واليورانيوم على تكلفة انتاج وحدة الطاقة الكهربائية، والذي تضاعف الى حوالي خمس مرات، نجد ان الارتفاع الكبير في تكاليف العناصر الأخرى لدورة الوقود تكاد تعوض هذا الفرق أو تزيد عليه، بحيث أن التكلفة الكلية

لدورة الوقود زادت الى حوالي ٤ر٤ ضعفاً ولم تنقص كما كان متوقعاً اذا ما اعتبرنا الفرق الكبير في سعر الوقود الخام.

٤ - ٣ - ٢ - ٢ تكاليف التحويل والاثراء :

لقد استقرت تقريباً أسعار تحويل أكسيد اليورانيوم (يو$_{٣}$ أ$_{٨}$) الى سادس فلوريد اليورانيوم (يوفل$_{٦}$) منذ عام ١٩٦٥ . وقد بلغت تكلفة التحويل حوالي ٣ر٥ - ٤ دولارات للكيلوجرام من اليورانيوم عام ١٩٧٥ ، بمعدل زيادة مستقر مقداره ١٤ر٠ دولاراً للكيلوجرام من اليورانيوم. وقد وصل السعر حالياً الى ما بين ٤ الى ٥ر٤ دولاراً للكيلوجرام يورانيوم.

أما تكاليف الاثراء فقد ارتفعت بانتظام منذ عام ١٩٦٥ فقد كان سعر وحدة شغل الفصل ٢٦ دولاراً في الولايات المتحدة عام ١٩٦٧ . ثم وصل الى ٣٦ دولاراً عام ١٩٧٤ ، واستمر في الارتفاع تدريجياً منذذلك الحين الى أن وصل حالياً الى مابين ٨٠ و١٠٠ دولار لوحدة شغل الفصل. ويقدر أن يصل السعر الى ما بين ٨٥ و١٦٠ دولاراً لوحدة شغل الفصل عام ١٩٨٥ . الا انه من الصعب التكهن بما سوف يصل اليه السعر في المستقبل. حيث تتأثر هذه الأسعار تأثراً كبيراً بأسعار اقامة منشآت الاثراء الجديدة ، وأسعار الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل هذه المنشآت والتي يصعب التنبؤ بها.

٤ - ٣ - ٢ - ٣ تكاليف تصنيع الوقود :

لقد استقر سعر تصنيع عناصر وقود مفاعلات الماء الخفيف فيما بين ١٢٠ الى ١٧٠ دولار للكيلوجرام من اليورانيوم ، وذلك خلال السنوات الماضية ، بالنسبة لأوامر التوريد العادية من الشركات الصانعة للمفاعلات. ومن المتوقع أن تستقر تكاليف تصنيع وحدات الوقود خلال السنوات القليلة القادمة بل ربما تنخفض قليلا.

وتزيد أسعار تصنيع عناصر وقود الأكسيد المخلوط لمفاعلات الماء الخفيف زيادة ملحوظة عن أسعار تصنيع وقود ثاني أكسيد اليورانيوم (يو أ٢) وقد تصل الى حوالي ٣٠٠ دولار للكيلوجرام بالنسبة لليورانيوم + البلوتونيوم، وقد تصل أسعار تصنيع وقود المفاعلات السريعة المتوالدة، المبردة بالمعادن السائلة، الى ما بين ٨٠٠ و١٠٠٠ للكيلوجرام من اليورانيوم + البلوتونيوم.

٤ - ٣ - ٢ - ٤ تكاليف اعادة المعالجة:

ليس في الامكان عمل التقديرات بدقة للاحتياجات الحالية والمستقبلة التقدير الدقيق للاحتياجات من اعادة معالجة وقود مفاعلات الماء الخفيف، ما لم يتم الاتفاق على سياسة مقبولة على نطاق واسع بالنسبة لاعادة المعالجة واعادة صلاحية استخدام البلوتونيوم. وبالنظر الى الفترات الزمنية الطويلة المطلوبة لتصميم وانشاء أية محطة جديدة لاعادة المعالجة، والتي تتراوح بين ٥ و٧ سنوات، والى التعقيدات في تصميم هذه المنشآت، فان تكاليف اقامة منشآت جديدة لاعادة المعالجة تكون مرتفعة الى حد كبير. ومن الواضح انه اذا ما اتبعت سياسة معينة تجاه اعادة معالجة وقود مفاعلات الماء الخفيف، فان سعة المنشآت الحالية لن تكفي لمواجهة كل الاحتياجات، الأمر الذي يتطلب زيادة سعة منشآت تخزين الوقود المستنفد الى أن يتم زيادة سعة منشآت اعادة المعالجة الحالية بالقدر الكافي المطلوب. وتوجد في الوقت الحاضر محطتان فقط تتيحان خدمات اعادة معالجة الوقود ،إحداهما في فرنسا والأخرى في المملكة المتحدة. ونظراً للسعة المحدودة لهاتين المنشأتين، فانه لا توجد تقديرات يمكن الاعتماد عليها لأسعار اعادة المعالجة. وتتراوح التقديرات التي تستخدم في الوقت الحالي في الحسابات الاقتصادية عموماً من ١٥٠ الى ٣٠٠ دولار للكيلوجرام. وبمقارنة هذه الأرقام بمثيلتها في عام ١٩٧٢ والتي كانت ٤٠ الى ٥٠ للكيلوجرام، يتضح لنا ان هذه الأسعار قد تضاعفت الى ما بين ثلاثة وستة أضعاف.

٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٥ تكاليف تخزين الوقود المستنفذ:

تعتبر هذه المرحلة من مراحل دورة الوقود ذات أهمية خاصة بالنظر الى الاحتياجات المتزايدة لتخزين الوقود، والناجمة عن التأخير في أعمال اعادة المعالجة الناتجة عن السعة المحدودة لمنشآت اعادة المعالجة، وعن اعتبارات السياسة الدولية. وتقدر تكاليف تصميم واقامة مخازن الوقود المستنفذ لمفاعلات الماء الخفيف، في الوقت الحاضر، بحوالي ١٠ دولار للكيلوجرام يورانيوم في السنة، بينما تقدر التكاليف بالنسبة لوقود مفاعلات الماء الثقيل المضغوط من ٣ الى ٥ دولارات للكيلوجرام يورانيوم في السنة.

٤ ـ ٣ ـ ٣ تكاليف التشغيل والصيانة:

ان العنصر الأخير في تكلفة انتاج الكهرباء من المحطة النووية هو تكاليف التشغيل والصيانة للمحطة، بما في ذلك تكاليف التأمين الخاصة. وتزيد تكاليف تشغيل وصيانة المحطات النوويةبعض الشيء عن نظيرتها بالنسبة للمحطات الحرارية وخاصة بسبب ارتفاع التأمين اللازم لتغطية اضرار الطرف الثالث. ومع ذلك فان هذه الفروق في تكاليف التشغيل والصيانة والتأمين لا تعتبر ذات أهمية كبيرة عند المقارنة بين تكاليف انتاج الوحدة الكهربائية من المحطات النووية والمحطات الحرارية.

وتوجد تقديرات تكاليف التشغيل والصيانة بالنسبة للأحجام المختلفة من محطات القوى في البيانات المنشورة بالنسبة للمحطات النووية والمحطات الحرارية. وفي حالة المحطات النووية يجب أن يؤخذ في الاعتبار التأمين الخاص الاضافي لهذه المحطات، والذي يمكن افتراضه بحوالي ٢٥ر٠٪ من جملة رأس المال المنصرف للمحطة، بما في ذلك التعويض عن أضرار الممتلكات وتعويض الطرف الثالث. وتقدر هذه التكاليف بالنسبة الى محطة قدرتها ٦٠٠ ميجاوات كهربائي بحوالي ٨ر٢ مليون دولار في السنة للمحطة النووية من نوع

مفاعلات الماء المضغوط وبحوالي ١ر٧ مليون دولار في السنة للمحطة الحرارية. ويقدر التصاعد في هذه التكاليف بمعدل حوالي ٤٪ سنوياً. وتؤدي هذه التكاليف الى اضافة حوالي ٢ر٢ ملليم للكيلووات ساعة من محطة نووية من نوع مفاعلات الماء الخفيف، وحوالي ١ر٤ ملليم للكيلووات ساعة للمحطة التي تعمل بالبترول.

٤ ـ ٤ المقارنة بين محطات القوى النووية ومحطات القوى الحرارية:

تجري المقارنة والتقييم الاقتصادي عادة بين المحطات النووية والمحطات الحرارية التي تستخدم البترول أو الفحم على أساس المقارنة بين سعر التوليد للطاقة الكهربائية من كل نوع من أنواع المحطات بافتراض نفس القدرة وتحت نفس ظروف التشغيل في نظام الشبكة الكهربائية وباستخدام نفس المتغيرات والفروض الاقتصادية في الحسابات. وقد كانت مثل هذه المقارنات الاقتصادية محوراً للكثير من الدراسات المتعددة والمتنوعة، وتم فيها تقدير وتقييم قدرة المحطات النووية على المنافسة الاقتصادية وذلك باستخدام البيانات المتاحة عن تقديرات عناصر التكاليف الأساسية الثلاثة السابق الاشارة اليها وهي رأس المال المستثمر وتكاليف دورة الوقود والتشغيل والصيانة.

٤ ـ ٤ ـ ١ المقارنة بين تكاليف رأس المال المستثمر:

ان ما يعنينا لأغراض المقارنة هو الفرق بين تكاليف رأس المال بالنسبة لكل من المحطة النووية والمحطة الحرارية التي تعمل بالبترول ويقدر الفرق حالياً بالنسبة لمحطات مفاعلات الماء الخفيف والمحطات البترولية بحوالي ٢٠٠ دولار للكيلووات المركب، بالنسبة للمحطات كبيرة الحجم في الدول المتقدمة صناعياً والتي يوجد فيها برامج كبيرة قائمة ومستمرة للقوى النووية.

ويمكن حساب الفرق بين التكاليف الكلية السنوية للاستثمار وتكاليف التوليد على أساس قيم مختلفة لمعدلات فوائد ثابتة، والتي يمكن اعتبارها في

حدود ١٠ ـ ١٤٪ في السنة أو طبقاً للمعدل المناظر لشروط تمويل المشروع.

وقد قدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٣، في الدراسة التي أجرتها لمسح سوق المحطات النووية في ١٤ دولة نامية، تكاليف رأس المال لاقامة المحطات النووية في هذه الدول بأقل من تكاليفها في الدول المصدرة للقوى النووية. وكان السبب الرئيسي لذلك هو انخفاض معدلات الأجور لعمال البناء، والتي كانت شديدة الانخفاض في البلدان النامية التي أجريت فيها الدراسة. وعلى الرغم من الانخفاض المتوقع في كفاءة العمال المحليين، الا أن النتيجة العامة اشارت الى انخفاض تكاليف الانشاء، وبالتالي انخفاض التكاليف الكلية للمحطة في الدول النامية. الا أن الخبرة تشير الى أنه لم يمكن، بل وقد لا يمكن، تحقيق هذه التكاليف المخفضة، بسبب كثير من العوامل العكسية التي تتضمن متطلبات التدريب الخاص للعمال المهرة وللمهندسين وكذلك الأجور المرتفعة للمشرفين والفنيين الأجانب والنقص في القاعدة الأساسية للصناعة، والتغير في أسعار مواد البناء، والظروف الخاصة للموقع. باضافة تكاليف متطلبات ترخيص المحطة، التي تقام في الدولة النامية، وفقاً للشروط السائدة في الدولة الموردة، نجد ان تكاليف اقامة المحطة قد تصل الى نفس تكاليف اقامة محطة بنفس القدرة في الدولة الموردة ان لم تزد عليها.

وتتأثر مقارنة تكاليف رأس المال بعاملين هامين هما:

أ ـ حجم المحطة:

ان مقارنة تكاليف رأس المال تتأثر بدرجة كبيرة لحساسية تأثر تكاليف رأس المال المستثمر للمحطات النووية مع حجم قدرتها الكهربائية. فالاقتصاد الناتج عن كبر حجم المحطة النووية يفوق كثيراً مثيله في المحطات التقليدية. فبينما تزيد تكاليف محطة من نوع مفاعلات الماء المضغوط قدرتها ١٢٠٠

ميجاوات كهربائي ، على سبيل المثال ، بمقدار ٣٠٪ تقريباً عن تكاليف محطة قدرتها ٦٠٠ ميجاوات كهربائي من نفس النوع ، نجد أن نسبة الزيادة المئوية في حالة المحطات التقليدية لنفس مدى القدرة ، تتجاوز ٥٠٪ . وبذلك فان الوضع الاقتصادي التنافسي للمحطات النووية بالنسبة لمحطات الوقود التقليدي ، يتحسن بدرجة ملموسة مع حجم المحطة. وهذا يمثل حافزاً اقتصادياً كبيراً لاختيار أكبر حجم ممكن للمحطة النووية بالقدر الذي يمكن استيعابه في الشبكة الكهربائية المتاحة.

ب ـ شروط التمويل:

تعتمد التكاليف السنوية لرأس المال المستثمر اعتماداً قوياً على معدل الفائدة وشروط التمويل ، وتؤثر تأثيراً كبيراً على الوضع التنافسي للمحطات النووية وذلك نظراً لارتفاع تكاليف الاستثمار لهذه المحطات عنه في المحطات البترولية. وعلى ذلك تصبح معدلات الفائدة المنخفضة أكثر ملائمة للظروف الاقتصادية للمحطات النووية عن مثيلاتها من المحطات التقليدية.

وسوف تتم مناقشة تأثير حجم المحطة ، وشروط التمويل على الوضع التنافسي للمحطات النووية في البند (٤ ـ ٤ ـ ٥) في آخر هذا الباب والذي يعالج تحليل الحساسية الاقتصادية للمتغيرات المختلفة.

٤ ـ ٤ ـ ٢ مقارنة تكاليف دورة الوقود:

لقد تغيرت تكاليف العناصر المختلفة لدورة الوقود النووية تغيراً ملموساً منذ عام ١٩٧٣ . ويبين الجدول رقم (١٩) مقارنة بين التكاليف عام ١٩٧٣ ، والتكاليف المقدرة لعام ١٩٧٨ . ويتضح من البيانات المدرجة في هذا الجدول ان هناك تغيرات رئيسية في كل عنصر من عناصر دورة الوقود ، ويتضمن هذا الجدول كذلك تقديرات لأرصدة اليورانيوم والبلوتونيوم. بالرغم من أن هذه التقديرات لا يمكن التيقن منها في ضوء الوضع الحالي لاعادة المعالجة ، الا أن

قيم هذه الأرصدة سوف تعتمد على أسعار الوقود الطبيعي وعلى أسعار وحدة شغل الفصل اللازم للاثراء .

وتشتمل العديد من الحسابات المنشورة في البحوث والتقارير العالمية وتقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية على تقديرات مختلفة لتكاليف دورة الوقود . وبفحص العدد الهائل من البيانات والتحاليل الاقتصادية المتاحة ، يتضح لنا التضارب الكبير واللاتحقيقية في التقديرات التي تقدمها الدراسات المختلفة . وان السبب الرئيسي لذلك هو مدى انطباق وصلاحية عناصر تكاليف دورة الوقود وغيرها من المتغيرات الاقتصادية المستخدمة في الحسابات والتي يمكن افتراض سريانها فقط للفترة الزمنية التي أجريت فيها . فجميع المتغيرات المستخدمة في التحليل الاقتصادي للقوى النووية كانت وما زالت في تغيير مستمر ، ويتضح ذلك على سبيل المثال ، من الأرقام الواردة في الجدول رقم (١٩) ، والتي تبين مدى التغير في تكاليف عناصر دورة الوقود خلال فترة خمس سنوات .

ومن هنا يلزم أن ننوه بضرورة التحفظ الشديد بالنسبة للبيانات الواردة في هذا الباب ، وكذلك أية بيانات اخرى منشورة ، حيث انها تسري فقط خلال الفترة الزمنية التي أجريت فيها الدراسة وتحت الظروف والفروض الخاصة التي استخدمت في الحسابات . الا أن هذه البيانات كبيرة الفائدة لتوضيح الاتجاهات العامة ، ولتحديد المؤشرات التي تسهم في الحصول على القيم المعينة الدقيقة اللازمة لمشروع محدد تحت الدراسة .

ويبين الجدول رقم (٢٠) مقارنة بين أحدث التقديرات المتاحة لتكاليف دورة الوقود ، والتي تم حسابها على أساس عناصر دورة الوقود الواردة في الجدول رقم (١٩) ، مع حسابات القيم المناظرة لتكاليف عام ١٩٧٣ .

ويجدر الاشارة هنا الى أن التكلفة الكلية لدورة الوقود قد ارتفعت من

١٫٦٨١ الى ٧٫٣ ملليم للكيلووات ساعة من عام ١٩٧٣ الى ١٩٧٨ وذلك على الرغم من ارتفاع قيم رصيد اليورانيوم ٢٣٥ ـ والبلوتونيوم الانشطاري من أعمدة الوقود المستنفذ . وبالنسبة لأسعار عام ١٩٧٣ ، يلاحظ ان الجزء الأكبر من سعر دورة الوقود يعزى الى العمليات الصناعية مثل التحويل والاثراء والتصنيع ، واعادة المعالجة والتي تصل في مجموعها الى أكثر من ٨٠٪ من التكاليف الكلية . وقد اختلف الوضع في عام ١٩٧٨ ، اذ نجد أن الجزء الأكبر في تكلفة دورة الوقود يرجع الى عنصرين فقط ، هما سعر اليورانيوم وسعر الاثراء وهما يمثلان حوالي ٨٢٪ من التكاليف الكلية .

وقد تم في أحد تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرية حساب تقدير تكاليف دورة الوقود كدالة لحجم المحطة . ويبين الجدول رقم (٢١) مثالا لهذه التقديرات مأخوذاً عن البيانات الواردة في التقرير المشار اليه .

وتبين النتائج الواردة في هذا الجدول ، ان تكاليف دورة الوقود لا تتأثر كثيراً بحجم المحطة . ويمكن تفسير هذه الظاهرة على أساس افتراض أن التغيير الوحيد في عناصر التكاليف ، يرجع الى انه كلما ازداد حجم المفاعل كلما قلّتْ نسبة الاثراء اللازمة بدرجة ضئيلة .

وبينما تشير البيانات الواردة عالية الى تكاليف دورة الوقود في مفاعلات الماء المضغوط ، الا أن البيانات المنشورة عن تكاليف هذه الدورة للمفاعلات الأخرى وهي الماء المضغوط ، الماء المغلي ، الماء الثقيل المضغوط ، المفاعلات مرتفعة الحرارة المبردة بالغاز تبين انها جميعاً تتراوح من ٥٫٦ الى ٥٫٧ ملليم للكيلووات ساعة . أما بالنسبة لمعظم المفاعلات السريعة المتوالدة فان التكاليف المقدرة تتراوح بين ٥٫٢ الى ٤ ملليم للكيلووات ساعة .

وتبدو تقديرات تكاليف دورة الوقود للمفاعلات من نوع الكاندو ، والتي تستخدم الماء الثقيل قريبة أو ترتفع قليلا عن التكاليف في حالة مفاعلات الماء المضغوط .

جدول (١٩) اتجاهات عناصر التكلفة لدورة الوقود النووي

البند	الوحدة	تكلفة عنصر دورة الوقود	
		١٩٧٣	١٩٧٨
اليورانيوم الطبيعي (يو ٣ أ ٨)	دولار للرطل	٧	٤٠
التحويل الى اليورانيوم هكسافلوريد	دولار/ كيلوغرام	٢ر٦	٤
الاثراء	دولار/وحدة شغل الفصل	٣٢	١٠٠
التصنيع	دولار/ كيلو جرام	٨٠	١٧٠
اعادة المعالجة والنقل	دولار/كيلوجرام	٤٠	٣٠٠
رصيد اليورانيوم	دولار/ كيلوجرام	- ٣٥	- ١٥٠
رصيد البلوتونيوم	دولار/ جرام	- ١٠	- ٢٠

جدول (٢٠)　　تكاليف دورة الوقود النووي (ملليم/ كيلووات ساعة)

البند	١٩٧٣			١٩٧٨		
	مباشر	غير مباشر	كلي	مباشر	غير مباشر	كلي
اليورانيوم الطبيعي (يو٣أ٨)	٠ر٥٢٣	٠ر١٥٨	٠ر٦٨١	٢ر٨٥	٠ر٩٩	٣ر٨٤
التحويل الى يوفل ٦	٠ر٠٧٤	٠ر٠٢	٠ر٠٩٤	٠ر١١	٠ر٠٣	٠ر١٤
الاثراء	٠ر٦٢٣	٠ر١٥٠	٠ر٧٧٣	١ر٨٣	٠ر٦١	٢ر٤٤
التصنيع	٠ر٣٢٣	٠ر٠٦٩	٠ر٣٩٢	٠ر٠٧٠	٠ر٢٢	٠ر٩٢
اعادة المعالجة والنقل	٠ر١٥٥	- ٠ر٠٢٩	٠ر١٣١	١ر٢٠	- ٠ر٢٤	٠ر٩٦
رصيد اليورانيوم	- ٠ر١٩٦	٠ر٠٣٤	- ٠ر١٦٢	- ٠ر٧٤	٠ر١٥	- ٠ر٥٩
رصيد البلوتونيوم	- ٠ر٢٧٦	٠ر٠٤٨	- ٠ر٢٢٨	- ٠ر٥٣	٠ر١٢	- ٤١٪
التكلفة الكلية لدورة الوقود (ملليم/كيلووات ساعة)	١ر٢٢٦	٠ر٤٥٥	١ر٦٨١	٥ر٤٢	١ر٨٨	٧ر٣١

جدول (٢١) تكاليف دورة الوقود واعتمادها على حجم المحطة

حجم المحطة النووية (ميجاوات كهربائي)	٦٠٠	٩٠٠	١٠٠٠	١٢٠٠
تكاليف دورة الوقود (ملليم/كيلوات ساعة)	٣١ر٧	١٣ر٧	٠٦ر٧	٩٦ر٦

جدول (٢٢) اتجاهات سعر البترول المحققة
للمنافسة الاقتصادية للمحطات النووية

البند / السنة		١٩٧٠	١٩٧٤	١٩٧٨
سعر البترول	دولار/ برميل	٢ر٣	٦ر٨	٨ر١٢
	دولار/ طن	٢٢	٦٠	٩١
	سنت/٦١٠ كيلو كالوري	٢٢٠	٦٠٠	٩١٠
سعر البترول المحقق للمنافسة الاقتصادية (سنت/٦١٠ كيلو - كالوري)		١٢٨	٢٥٦	٤٠٠

ولاجراء المقارنة بين تكلفة الوقود للمحطات النووية والمحطات الحرارية تم افتراض قيمة سعر الوقود من البترول المنخفض في نسبة الكبريت على أساس ٢٠ر٨ ملليم للكيلووات ساعة بحساب تكلفة ١٢ر٨ دولار للبرميل (٩١ دولار للطن).

٤ ـ ٤ ـ ٣ مقارنة تكاليف التشغيل والصيانة:

استخدمت في هذه المقارنة التحليلية القيم السابق الاشارة اليها وهي ٣ر٢ ملليم للكيلووات ساعة في المحطة النووية، ٤ر١ ملليم للكيلووات ساعة للمحطة الحرارية الا أن هذا العنصر السعري لا يبدو هاماً بالدرجة التي يمكن بها أن يصبح عاملا حرجاً في الدراسة الاقتصادية.

٤ ـ ٤ ـ ٤ سعر البترول وحجم المحطة المحققان لنقطة التعادل الاقتصادي:

من البيانات الواردة فيما سبق، يمكن الحكم على الوضع التنافسي للمحطات النووية بالمقارنة بالمحطات البترولية، هذه البيانات التي تتصل بمقارنة التكلفة بالنسبة للعناصر الثلاثة الرئيسية للتكلفة الكلية لانتاج الكهرباء. ويمكن التعبير عن نتائج هذه المقارنة اما بدلالة سعر الوقود البترولي المحقق لنقطة التعادل وهو الذي يجعل تكلفة انتاج الوحدة الكهربائية متساوياً في النوعين من المحطات، أو بدلالة حجم المحطة النووية المحقق لنقطة التعادل وهو يحقق نفس المساواة في ضوء أسعار البترول السائدة في المرحلة الزمنية للدراسة. هذا مع تثبيت سعر الفائدة وتثبيت معامل تحميل المحطة في الحالتين.

وتجري الحسابات لهذه المقارنة باستخدام برامج خاصة للحاسب الالكتروني والتي تم اعدادها وتطويرها لهذا الغرض (مثل برنامج FUEL CASH) ويمكن الحصول عليها من الوكالة الدولية للطاقة الذرية أو من غيرها من المنظمات المتخصصة. والطريقة المستخدمة لتحديد سعر البترول المحقق لنقطة التعادل الاقتصادي، هي أخذ مجموع الفروق للتكاليف السنوية لرأس

المال وتكاليف التشغيل والصيانة بين نوعي المحطتين النووية والحرارية ، ويتم حساب سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي على أساس التكاليف المقدرة لدورة الوقود ، تحت نفس ظروف سعر الفائدة ومعامل تحميل المحطة. ويلخص جدول رقم (٢٢) مثالا لنتائج هذه التحاليل ، يستعرض أسعار البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي لمحطة بقدرة ٦٠٠ ميجاوات كهربائي ، من نوع مفاعلات الماء المضغوط ، على افتراض أن معامل تحميل المحطة هو ٨٠٪ وسعر الفائدة هو ١٠٪ ، كما يعرض الجدول كذلك أسعار الوقود البترولي معبراً عنه بنفس وحدات الطاقة لسهولة المقارنة.

وقد أعدت النتائج المدونة في هذه الجداول للفترة الزمنية من ١٩٧٠ الى ١٩٧٨ لتوضيح التغييرات في الوضع التنافسي للمحطات النووية خلال هذه الفترة. ونجد أن سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي هو ١٢٨ سنت لكل ١٠^٦ كيلو كالوري ، وهذا يبين أن محطة نووية بقدرة ٦٠٠ ميجاوات كهربائي لا تتحقق لها المنافسة الاقتصادية في ضوء أسعار البترول التي كانت سائدة عام ١٩٧٠ وهي ٢ر٣ دولار للبرميل ، أي ما يعادل ٢٢٠ سنتاً لكل ١٠^٦ كيلو كالوري الا أن الوضع التنافسي للمحطة النووية قد تغير تغيراً جذرياً عام ١٩٧٤ عندما ارتفع سعر البترول الى ٦٠٠ سنتاً لكل ١٠^٦ كيلو كالوري ، وهذا يبين أن محطة قدرتها ٦٠٠ ميجاوات أصبح في امكانها أن تتنافس بقدر مناسب ، عند سعر التعادل الاقتصادي هو ٢٥٦ سنتاً لكل ١٠^٦ كيلو كالوري وهو سعر يتيح المنافسة الاقتصادية حتى للمحطات النووية الأصغر حجماً.

وما زال هذا الوضع الاقتصادي قائماً الى الآن بالرغم من الارتفاع الكبير في رأس المال الأساسي وتكاليف عناصر دورة الوقود ، وذلك بالنظر الى الارتفاعات المستمرة في أسعار البترول ، والتي وصلت الى ١٩ دولار للبرميل في الوقت الحالي ، بما يعادل ١٣٣٠ سنتاً لكل ١٠ كيلو كالوري.

جدول (٢٣) سعر البترول المحقق للمنافسة الاقتصادية
كدالة لحجم المحطة ومعامل المحطة ، وسعر الفائدة

سعر الفائدة / حجم المحطة (ميجاوات كهربائي)	معامل المحطة ٦٥٪			معامل المحطة ٦٠٪		
	٨٪	١٠٪	١٢٪	٨٪	١٠٪	١٢٪
١٠٠	٦٢٩	٧٢٠	٨١٥	٦٧٢	٧٧١	٨٧٣
١٥٠	٥٢٩	٦٠٣	٦٨٠	٥٦٤	٦٤٤	٧٢٧
٢٠٠	٤٦١	٥٢٥	٥٩٢	٤٩٠	٥٥٩	٦٣٢
٢٥٠	٤١٨	٤٧٥	٥٣٣	٤٤٣	٥٠٥	٥٦٨
٣٠٠	٣٨٧	٤٣٧	٤٩١	٤١٠	٤٦٤	٥٢٣
٤٠٠	٣٤٨	٣٩٢	٤٣٩	٣٦٧	٤١٥	٤٦٦
٥٠٠	٣٢٢	٣٦٣	٤٠٤	٣٤٠	٣٨٤	٤٢٨
٦٠٠	٣٠٥	٣٤٣	٣٨٢	٣٢١	٣٦٢	٤٠٥
٨٠٠	٢٨٠	٣١٢	٣٤٨	٢٩٤	٣٢٩	٣٦٨

٤ ـ ٤ ـ ٥ تحاليل الحساسية:

ان تكاليف انتاج الطاقة الكهربائية من المحطات النووية تتأثر بحساسية كبيرة بحجم المحطة وشروط تمويلها (سعر الفائدة)، ومعامل تحميل المحطة على الشبكة الكهربائية. ويبين جدول رقم ٢٣ مثالا موضحاً لدراسات الحساسية التي أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تقريرها الذي نشر عام ١٩٧٤ عن دراسة السوق للمحطات النووية في الدول النامية، كما يبين الجدول سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي بدلالة حجم المحطة، ومعامل تحميلها وسعر الفائدة. ويتضح من هذه البيانات ان محطة نووية بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي لا تكون اقتصادية، وان كان ذلك بقدر ضئيل جداً، على أساس أن سعر البترول في عام ١٩٧٤ هو ٦٠٠ سنت لكل ١٠^٦ كيلو كالوري وبافتراض ٦٥٪ معامل للمحطة، ١٠٪ سعر للفائدة. أما بافتراض ٦٠٪ معامل للمحطة، ١٢٪ سعر الفائدة، فان المحطة النووية بحجم ٢٠٠ ميجاوات لا تكون منافسة اقتصادياً. ويتضح من هذه الأمثلة ارتفاع حساسية النتائج للمتغيرات الاقتصادية. اذ يؤدي تغير سعر الفائدة بمقدار ٢٪ الى زيادة سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي بمقدار ١٠٠ سنت لكل كيلو كالوري، وتغير الحجم الذي يعطي التعادل الاقتصادي بحوالي ١٠٠ الى ٣٠٠ ميجاوات كهربائي.

وخلاصة ما سبق أن سعر البترول عند نقطة التعادل الاقتصادي في الوقت الحالي يتيح للمحطات النووية ميزة اقتصادية مؤكدة على المحطات البترولية. وليس من المحتمل أن ينخفض سعر البترول في المستقبل القريب. ومن هنا فان هذا الوضع التنافسي للمحطات النووية سوف يستمر، ولو أن قيمته الدقيقة لا يمكن تحديدها الا بعد التحاليل المستفيضة للخصائص النوعية لكل حالة على حدة.

الباب الخامس

ادخال القوى النووية في الدول النامية

٥ ـ ١ مقدمة:

تمت في الباب الأول من هذا التقرير معالجة الاحتياجات للقوى النووية، ووضعها الحالي واحتمالاتها المستقبلة، سواء بالنسبة للدول الصناعية المتقدمة أو الدول النامية. وسوف نناقش في هذا الفصل المراحل المختلفة والخطوات اللازمة لصياغة برنامج للقوى النووية في الدول النامية، والبدء به، وتنفيذه.

وقد تأخرت أغلبية الدول النامية في ادخال القوى النووية لانتاج الكهرباء، اذ تبلغ القدرة الكهربائية النووية المركبة في الدول النامية في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية والشرق الأقصى والتي يبلغ تعداد سكانها حوالي ٢٠٠٠ مليون نسمة، حوالي ٢٠٠٠ ميجاوات كهربائي، بما يمثل ٢٪ فقط من كل القدرة النووية المركبة في العالم. وقد كانت الهند، هي الدولة النامية الوحيدة حتى عام ١٩٧٠، التي أقامت محطة نووية لانتاج الكهرباء، وفي نهاية عام ١٩٧٨، وبعد مرور حوالي ٢٥ عاماً على تطوير الطاقة النووية واستخدامها في توليد الكهرباء، بلغ عدد الدول النامية التي تمتلك محطات نووية شغالة خمس دول فقط.

الا أن اهتمام الدول النامية بادخال القوى النووية قد تزايد بسرعة خلال الأعوام الأخيرة. والدليل على تزايد هذا الاهتمام، هو أنه توجد في الوقت

الحاضر احدى عشر دولة نامية تقام بها محطات نووية تحت الانشاء ، هذا بالاضافة الى الدول الخمسة السابق الاشارة اليها والتي تمتلك مفاعلات نووية شغالة الآن . وتبلغ قدرة المحطات التي يجري انشاؤها حوالي ١٥٠٠٠ ميجاوات كهربائي ، ومن المخطط أن يبدأ تشغيلها في أوائل الثمانينات . وتوجد ثمان أو تسع دول نامية أخرى تخطط لإدخال القوى النووية ، بما سوف يصل بالمجموع الكلي للدول النامية المالكة للمحطات النووية الى حوالي ٢٤ أو ٢٥ دولة . وقد قدرت دراسات وتوقعات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، التي أعلنتها في مؤتمر سالزبورج في مايو عام ١٩٧٧ ، بأن عدد الدول النامية المالكة لمحطات نووية سوف يصل عام ٢٠٠٠ الى ٣٦ دولة ، بما في ذلك ست دول أوروبية من الكتلة الشرقية وسوف يصل اجمالي القدرة النووية المركبة في هذه الدول الى ٢٩٣ ـ ٤٣٧ جيجاوات كهربائي . وأبرزت الوكالة في تقريرها ، أنه في نهاية هذا القرن ، قد تصل نسبة توليد القوى الكهربائية من المحطات النووية المركبة في بعض هذه الدول الى حوالي ٥٠ ـ ٦٠٪ من اجمالي القوى الكهربائية بها . ومن بين الدول التي تخطط لبرامج نووية كبيرة تزيد عن ١٠٫٠٠٠ ميجاوات كهربائي الارجنتين والبرازيل والهند وايران وكوريا والمكسيك وباكستان ورومانيا وتايوان ويوغوسلافيا . ولعل أكثر المخططات طموحاً هو المخطط البرازيلي والذي يستهدف اقامة ٧٥٫٠٠٠ ميجاوات كهربائي من المحطات النووية حتى عام ٢٠٠٠ . وتلي ذلك ايران حيث تخطط لاقامة ٤٠٫٠٠٠ ميجاوات كهربائي ، ثم المكسيك بمستهدف يصل الى ٣٠٫٠٠٠ ميجاوات كهربائي . ويبدو أن هذه المخططات قد تكون طموحة أكثر من اللازم ، وقد يقل واقع التنفيذ كثيراً عن المستهدف وذلك يسبب عدداً كبيراً من المشاكل المختلفة والقيود التي تتعلق بالنواحي الفنية والصناعية والتجارية والاقتصادية والمالية والسياسية والسمات الدولية لتنمية القوى النووية .

وعلى الرغم من هذه المشاكل والقيود ، فان الدول النامية ليس أمامها من

بديل سوى زيادة اعتمادها على القوى النووية لسد احتياجاتها المتزايدة والملحة من الطاقة في المستقبل. ويعزى ذلك في المقام الأول الى التقديرات الأخيرة من أن الاحتياطي العالمي من البترول محدود السعة، ومن أن أسعار البترول سوف تستمر في الارتفاع. ولعل العقبة الكبرى التي تمثل السبب الرئيسي في بطء أو تأخر دول كثيرة عن تحقيق المستهدف في خططها نحو اقامة المحطات النووية، هي توفير التمويل الكبير اللازم لاقامة هذه المحطات، حيث أن استثماراتها للكيلوات المركب تصل الى أكثر من ضعف الاستثمارات اللازمة لاقامة المحطات التقليدية. وهذه العقبة يمكن أن تمثل قيداً خطيراً على معدل ومدى ازدياد السعة الكهربائية النووية في العالم ككل بوجه عام، وعلى ادخالها في الدول النامية على وجه الخصوص.

٥ ـ ٢ التخطيط للبرنامج النووي

٥ ـ ٢ ـ ١ دراسات التخطيط للقوى النووية:

يوجد عدد من الخطوات والمهام الضرورية التي يجب القيام بها لتخطيط وبدء برامج القوى النووية بالنسبة للدول النامية التي تعتزم ادخال القوى النووية لانتاج الطاقة الكهربائية بها، ثم يتبع ذلك تنفيذ المشاريع الخاصة بذلك.

وان أولى هذه المهام الضرورية هي الدراسات التخطيطية لاثبات الحاجة الى القوى النووية، وتحديد مدى البرنامج المطلوب. وتشتمل هذه الدراسات على الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة ومدى ما يمكن أن تقدمه الموارد المحلية المتاحة نحو سد هذه الاحتياجات. وان تقييم دور القوى النووية في البرامج التي تستهدف سد الاحتياجات البعيدة المدى للطاقة سوف يعتمد في المقام الأول على الدراسات التفصيلية المقارنة لبدائل اختيارات الطاقة، وللمزايا الاقتصادية للمخططات المختلفة لتنمية نظم مصادر الطاقة. ولا بد أن تشتمل

هذه الدراسات ، بالاضافة الى المنافسة الاقتصادية للقوى النووية مع البدائل الأخرى لأنظمة الطاقة ، على عدد من العوامل والاعتبارات الأخرى ، منها حجم وتوقيت التشغيل للمحطة النووية ، المزمع تركيبها ، والوقت اللازم لتنميتها وانشائها واستلامها وتشغيلها . وذلك بالاضافة الى ملائمة أحجام المحطات المتاحة تجارياً لربطها بالشبكة الكهربائية الموجودة . ومن العناصر الهامة الأخرى التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في مرحلة التخطيط لبرنامج القوى النووية التكاليف المستقبلة للمحطات ومتطلبات امدادها بالوقود مع التأكد من سهولة واستمرارية امدادات الوقود . وقد أجريت دراسات تخطيط القوى النووية في عديد من الدول النامية ، وأصبحت تمثل أساساً لبدء مشروعات القوى النووية في عدد منها . ومن أمثلة هذه الدراسات التخطيطية الدراسة المكثفة التي أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية خلال عام ١٩٧٣ في أربعة عشرة دولة نامية ، عن مسح سوق القوى النووية . وقد نشرت الوكالة التقارير المنفصلة عن كل دولة على حدة والتقرير العام الذي احتوى النتائج التفصيلية لهذه الدراسات . وهذه التقارير متاحة عند طلبها من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ويتوفر لدى الوكالة متخصصون لاجراء مثل هذه الدراسات ، يمكن ، بناء على طلب دولة ما ، أن يقوموا بدراسات التخطيط النووي لها ، وتتم هذه الدراسات كجزء من الخدمات الاستشارية التي تتيحها الوكالة للدول الاعضاء .

وبصفة عامة تستهدف دراسات تخطيط القوى النووية التي تجريها الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، الآتي : ـ

١ ـ مراجعة نظم توليد وتوزيع الكهرباء لامكان تقديم المشورة بالنسبة لأحجام المحطات النووية المناسبة التي يمكن أخذها في الاعتبار بالنظر الى منافستها الاقتصادية والى الوقت المناسب لادخالها وربطها بنظم الشبكة الكهربائية .

٢ ـ مراجعة الهيكل التنظيمي الحالي وتقديم المشورة بالنسبة للتنظيم في المستقبل والمتطلبات من القوى العاملة من الفنيين المدربين.

٣ ـ مراجعة المواقع المحتملة لبناء محطات القوى النووية على أسس من الاعتبارات الفنية.

وتعتبر الطرق المستخدمة في هذه الدراسات التخطيطية بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية، وكذلك بواسطة عدد كبير من الشركات والمنظمات الاستشارية الهندسية، راسخة ومعتمدة. وتنطوي الدراسة على تحديد الحد الأمثل للتوسع الكلي في حجم الشبكة الكهربائية، وذلك لتحديد الحجم الأمثل لوحدات توليد الطاقة الكهربائية والتوقيت الزمني المناسب لاضافتها للشبكة مع الأخذ في الاعتبار خصائص الحمل الكهربائي وكذلك استقرار مجموعة القوى ومدى الاعتماد عليها، ويتم اجراء هذه الدراسات باستخدام مجموعة من برامج الحاسبات الالكترونية المتاحة لدى الوكالة الدولية للطاقة الذرية ولدى غيرها من المنظمات. وعلى الدولة التي تجري بها مثل هذه الدراسة ان تجهز الكثير من البيانات الدقيقة والتي تشتمل على خواص مجموعة القوى الكهربائية وخطط التنمية الصناعية والزراعية والاجتماعية، وتنبؤات المتطلبات المستقبلة من الطاقة لهذه الخطط، وموارد الطاقة المتاحة محلياً وغير ذلك من العوامل الاقتصادية والفنية التي ترتبط بها.

ولا بد من التنويه هنا بأن دراسات التخطيط للقوى النووية، سواء أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية أو هيئات استشارية خارجية، أو قام بها المسؤولون في الدول المعنية، هي دراسات ضرورية وهامة كخطوة أولى نحو تحديد الحاجة الى القوى النووية وتحديد حجم وتوقيت البرنامج المستقبلي للقوى النووية.

٥ - ٢ - ٢ دراسات الجدوى :

عندما يتم التثبت من أن الطاقة النووية تمثل بديلا اقتصادياً للمصادر الأخرى من الطاقة، وعندما تشير دراسات التخطيط المذكورة الى الحاجة للقوى النووية على المدى الطويل، تصبح الخطوة التالية هي صياغة وبدء المشروع لأول محطة للقوى النووية. ولا بد لهذا الغرض من اجراء دراسات الجدوى أو دراسات ما قبل الاستثمار بالنسبة لمحطة قوى نووية محددة. ويجب أن يكون واضحاً أن هناك اختلافاً واضحاً بين الدراسات التخطيطية والتي تعطي مؤشرات عن الاحتمالات العامة والطويلة المدى للقوى النووية، ودراسات الجدوى التي تعالج بعمق مشروعاً محدداً بحجم محدد وفي موقع معين. وعلى الرغم من أن الدراسات التخطيطية يمكن أن تتيح عدداً من العوامل الاقتصادية والفنية مثل حجم الوحدة وتوقيت انشائها والقواعد الاقتصادية العامة التي تدخل في الحسبان عند اجراء دراسة الجدوى، الا انه من الضروري اجراء تحليل تفصيلي والاجابة بوضوح على عدد من الأسئلة الأساسية :

١ - الحجم الاقتصادي لمحطة القوى النووية التي يمكن ادخالها في الشبكة الكهربائية المتاحة.

٢ - اختيار موقع انشاء المحطة النووية وتحديد الملامح التفصيلية للموقع الذي يتم اختياره والمشاكل المتصلة به.

٣ - المتطلبات التنظيمية والاحتياجات من القوى العاملة لتنفيذ محطة القوى النووية.

٤ - متطلبات التنفيذ والتمويل.

وجدير بالذكر أن تحضير دراسة الجدوى يتطلب بيانات مكثفة وتحليلات فنية واقتصادية دقيقة لمحطة نووية معينة في موقع محدد، وتحت الظروف

والمتغيرات السائدة في الدولة المعنية. وتقرير الجدوى هو من أهم وثائق محطة القوى النووية، ولذلك تجدر مراجعته وتقييمة بدقة في كل تفاصيله. وقد تم اعداد الكثير من هذه التقارير في الدول المختلفة على سبيل المثال في الفيلبين تم بواسطة مستشارين خارجيين وعن طريق أحد مشروعات برنامج الأمم المتحدة للتنمية من خلال الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وقد أعدت مثل هذه التقارير أيضاً في مصر وكوريا ويوغوسلافيا بواسطة مستشارين خارجيين.

ويمكن أن تقوم السلطات المحلية في الدولة باعداد تقرير الجدوى الا أن المتبع هو أن تقوم احدى الشركات الاستشارية المعروفة وذات الخبرة الكبيرة باعداد هذا التقرير. ويرجع السبب الرئيسي في ذلك الى أهمية تقرير الجدوى في أية مفاوضات تجري بشأن تمويل المشروع، كما انه سيكون مطلوباً من جميع مؤسسات التمويل. ولهذا فمن المتوقع أن يكون للتقرير وزن أكبر لدى تلك المؤسسات في حالة قيام جهة محايدة من الشركات الاستشارية المعروفة وذات السمعة العالمية باعداده.

٥ ـ ٣ مراحل ادخال مشروع المحطة النووية الأولى وخطوات تنفيذها:

بعد الانتهاء من الدراسات التخطيطية، والتثبت من الاحتياج الى برنامج للقوى النووية، وفوائد هذا البرنامج، يبدأ توجيه العناية نحو اتخاذ القرار باقامة المحطة النووية الأولى، في نطاق البرنامج الطويل المدى وعلى أساس نتائج وتقييم دراسة الجدوى. ويمكن تقسيم المهام الواجب مواجهتها للقيام بمثل هذا المشروع الى مرحلتين محددتين وهي: المرحلة الأولى هي مرحلة ما قبل التعاقد وتشتمل على الخطوات الضرورية اللازمة للانتهاء من التعاقد مع احدى الشركات لتوريد المحطة واقامتها، أما المرحلة الثانية فهي التي تشتمل على خطوات تنفيذ المشروع الى أن يتم استلامه وقبوله وتشغيله.

٥ ـ ٣ ـ ١ مرحلة ما قبل التعاقد:

تم خلال هذه المرحلة الدراسة التفصيلية لبعض النواحي الرئيسية وذلك قبل البدء في الخطوات المؤدية الى اختيار شركة معينة وابرام التعاقد معها لتنفيذ المشروع، وهذه النواحي هي: ـ

أ ـ حالة الشبكة الكهربائية الوطنية، وقدرتها على استيعاب الأحجام الاقتصادية لمحطات القوى النووية المتاحة تجارياً.

ب ـ قدرة الدولة على اتاحة العدد اللازم من العمالة والمهارات الضرورية لاستيعاب التقنية النووية الجديدة والمعقدة، وان يمكنها كذلك ان تستخدمها على أكبر قدر من الكفاءة.

ج ـ وجود دولة مصدرة للقوى النووية مستعدة لتوريد المحطة النووية.

د ـ ضمان مصدر للوقود النووي طول عمر المحطة.

هـ ـ مصادر تمويل المشروع النووي للاستثمارات اللازمة للمحطة والوقود اللازم لها ومن خلال دراسة هذه النواحي، يتضح مدى المشاكل المختلفة التي ينبغي مواجهتها وحلها.

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ١ حالة الشبكة الكهربائية وتأثيرها على حجم المحطة:

يعتمد حجم المحطة على مقدار الاحتياجات للطاقة، وسعة وظروف تشغيل الشبكة الكهربائية. ويضع استقرار الشبكة الكهربائية بعض القيود على حجم المحطة المطلوب ادماجها في هذه الشبكة. وان اضافة محطة أكبر من اللازم يقتضي اضافة محطات توليد للشبكة للعمل كاحتياطي دائر وذلك لتحقيق الاستفادة الكاملة من هذه المحطة والا فانه يلزم تحويل جزء من خرج هذه المحطة الى احتياط دائر.

ومن أكبر الصعوبات في اختيار الحجم المناسب، هو صعوبة تحقيق الموازنة

المثلى لمتطلبات مجموعة القوى الكهربائية واقتصاديات حجم المحطة ، والأحجام المتاحة تجارياً من المحطات النووية ، مع الظروف السائدة وحجم الشبكة الكهربائية النووية في أغلبية الدول النامية . وفي معظم الحالات يتم اختيار حجم المحطة النووية بحيث تكون أكبر من الحجم الأمثل الذي يوفق بين حجم التعادل الاقتصادي وسعة الشبكة الكهربائية .

ولتوضيح هذه النقطة نأخذ كمثال حالة مشروع المحطة النووية الأولى في مصر فقد بينت الدراسات الدقيقة أن أنسب حجم للمحطة النووية التي يمكن ادماجها في الشبكة الكهربائية يتراوح من ٣٥٠ الى ٤٥٠ ميجاوات كهربائي . الا أن معظم الشركات الكبيرة المنتجة للمحطات النووية لا تنتج أحجاماً أقل من ٦٠٠ ميجاوات ولذلك فقد تم اختيار الحد الأدنى المتاح لحجم المحطات النووية ، وهو ٦٠٠ ميجاوات ولذلك فقد تم اختيار الحد الأدنى المتاح لحجم المحطات النووية ، وهو ٦٠٠ ميجاوات ، لمشروع أول محطة نووية في مصر ، وذلك بالرغم من ضرورة مواجهة المصاريف الاضافية في حجم الاستثمارات وفي سعة الاحتياطي الدائر الاضافي اللازم للشبكة .

٥ - ٣ - ١ - ٢ توفير الافراد المدربين في التقنية النووية:

ان توفير قاعدة من الخبراء الوطنيين القادرين على استيعاب التقنية المعقدة المرتبطة بمحطات القوى النووية ، هي من أهم المتطلبات الأساسية المسبقة لتنفيذ محطة القوى النووية في أية دولة نامية . ويمكن اعداد القاعدة العريضة من الأفراد المؤهلين بحيث تغطى كل المجالات المتصلة بالطاقة النووية ، عن طريق التدريب محلياً في مراكز البحوث النووية وفي الخارج بالايفاد لحضور دورات تدريبية في بعض المجالات التخصصية المختارة . وان اعداد القاعدة المطلوبة من الأفراد الفنيين اللازمين لاستيعاب هذه التقنية الجديدة يتطلب التخطيط الدقيق على مدى من السنين ، وكذلك انفاق استثمارات كبيرة .

ولا بد أن نتذكر حقيقة هامة في هذا الصدد ، وهي ضرورة وجود مراكز أبحاث وتدريب محلية للاحتفاظ بنشاط هذه القاعدة من الأفراد وحمايتها من الاغراءات المادية والعملية التي تعرض من الخارج على مثل هؤلاء الافراد المؤهلين على أعلى المستويات. وحتى في حالة الاستعانة بالمكاتب الاستشارية الخارجية ، فان من الضروري توافر المناظرين من الأفراد الوطنيين ، في التخصصات النووية وكذلك في التخصصات الهندسية التقليدية.

٥ - ٣ - ١ - ٣ وجود دولة مصدرة مستعدة لتوريد المحطة:

ان ابداء الاستعداد من قبل احدى الدول المتقدمة صناعياً لتوريد المحطة النووية لدولة نامية هو من العوامل الهامة في تحقيق وتنفيذ أي مشروع نووي ، فقد أصبح نقل التقنية النووية حالياً يرتبط أكثر وأكثر مع السياسات الدولية على غير ما هو الحال بالنسبة للمجالات التقنية التقليدية. وطالما يظهر التخوف من الانحراف بالتقنية النووية للاستخدامات غير السلمية عندما تفكر أي دولة في اقامة محطتها النووية الأولى. وان تصدير التقنية النووية يخضع بدرجة كبيرة لرقابة محكمة وضمانات ضد انتشار الأسلحة النووية.

٥ - ٣ - ١ - ٤ تأمين مصادر الوقود النووي طوال عمر المحطة:

ان استمرار توريد الوقود وتقديم خدمات دورة الوقود طوال عمر المحطة يعتبر واحداً من أهم النواحي الصعبة ، بل لعله من أصعب المسائل وأكثرها اثارة للتشكك ويجب أن يكون موضعاً للعناية الشديدة. وقد أصبحت بعض خدمات دورة الوقود ، مثل اثراء اليورانيوم واعادة معالجة الوقود المستنفذ ، احتكاراً لعدد صغير من الدول كما تخضع لرقابة ولاتفاقيات حكومية خاصة. ويحتاج الأمر الى فترة انتظار طويلة للحصول على هذه الخدمات بما يقتضي التزامات مالية مسبقة ونظم ادارة وتخطيط معقدة. ولم يعد اليورانيوم متاحاً حالياً في السوق المفتوحة ، كما استمر سعر العجينة الصفراء في سوق اليورانيوم

في ارتفاع مستمر خلال السنوات الأخيرة. لكل هذه الأسباب يجب تأمين توريد الوقود والحصول على خدمات دورة الوقود طوال عمر المحطة، ويقتضي ذلك الحصول على ضمانات كافية من المورد والمصنع قبل انهاء اجراءات التعاقد على المشروع.

٥ ـ ٣ ـ ١ ـ ٥ الغطاء المالي للمشروع النووي:

يمثل التمويل صعوبة أخرى متوقعة عند التقدم الى الدول المصدرة للحصول على محطة نووية نظراً لأن رأس المال المستثمر في هذه المحطات من الضخامة بمكان بحيث تعجز معظم الدول النامية على توفيره من مصادرها الذاتية، وفي معظم الأحوال تتيح الدولة المصدرة تغطية جزء أو نسبة كبيرة من القرض اللازم لتمويل المشروع، على أن يتم توفير باقي التمويل من البنوك أو المصادر المالية الأخرى بشروط ميسرة. وتدل الخبرة على أن توفير التمويل ليس دائماً بالمهمة السهلة. وقد لجأت بعض الدول في الواقع الى الحصول على قروض من عدد كبير من البنوك حتى يمكن لها تغطية الاعتمادات اللازمة لاقامة المحطة والحصول على الوقود.

٥ ـ ٣ ـ ٢ خطوات التعاقد على مشروع المحطة النووية:

عندما يتقرر اقامة أول محطة نووية، فان وضل مثل هذا المشروع الكبير موضع التنفيذ ينطوي على عدد من الأعمال الهامة التي يجب القيام بها للوصول الى تعاقد ناجح مع مورد مختار لتصميم واقامة المحطة. ومن المهم تحقيق كل من المهام المطلوبة خلال مرحلة ما قبل التعاقد في أوقاتها المحددة حتى يمكن تحقيق الجدول الزمني بالنسبة لانشاء وتشغيل المحطة في المواعيد المحددة، اذ أن التأخير في انهاء هذه المهام في المواعيد المقررة قد يؤدي الى خسائر مالية كبيرة، خاصة بالنسبة للتصاعد المستمر في أسعار المواد وتكاليف الخدمات.

وسوف نناقش باختصار فيما يلي كلا من المهام التي تتضمنها هذه المرحلة ، مع التركيز على المشاكل المختلفة التي تواجه التنفيذ .

٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ التنظيم واعداد الأفراد :

من المشاكل العاجلة التي تتم مواجهتها في بدء مشروع محطة نووية هي اقامة التنظيم اللازم من الأفراد الوطنيين لهذا المشروع ، وتعريف وتوصيف مدى الخبرات الأجنبية المطلوب تغطيتها بالمستشارين الأجانب ، ومن الضروري بالنسبة لمهام مرحلة ما قبل التعاقد ، في أي دولة نامية ، استخدام هيئة استشارية أجنبية . وهذه الهيئة ضرورية ليس فقط لتغطية مجالات الخبرة والتخصص الغير متاحة محلياً مثل تأكيد ورقابة الجودة والمعايير والمواصفات القياسية ، والأمان وغير ذلك من المجالات ، بل للمساعدة أيضاً في انجاز المهام الأخرى المختلفة في أقصر وقت ممكن . وبالاضافة الى ذلك يوجُد حجم كبير من الأعمال التي يجب انجازها لتحضير التقارير والوثائق حتى تكون صالحة للاستخدام الأمثل وبكفاءة كبيرة بواسطة الهيئات الاستشارية . وان تشكيل منظمة وطنية من المهندسين والعلماء الذين يتم اختيارهم من ذوي المؤهلات العالية ، هو من العناصر الرئيسية لنجاح المشروع . وان الاعتماد على المستشارين الأجانب دون توافر من يناظرهم من الخبرات المحلية العالية يمكن أن يكون مضيعة للجهد والمال . وفي العادة لا يكون حجم المنظمة المحلية كبيراً في المراحل الأولى ، ويكون من أول أعمالها تخطيط وتنظيم المهام المختلفة ، والتحديد الدقيق للأعمال التي سيعهد بها الى المكتب الاستشاري . كما ان اختيار المكتب الاستشاري ليس من المهام السهلة ، ويجب أن يعتمد اساساً على حصيلة خبراته السابقة في مشروعات مماثلة ، وعلى سمعته وعلى التقييم الدقيق لمزايا وعيوب اختيار المكتب الاستشاري من نفس الدولة التي تصنع فيها المحطة أو من دولة أخرى .

٥ - ٣ - ٢ - ٢ اعداد المواصفات والدعوة الى تقديم العطاءات:

قبل البدء في تحضير وثائق الدعوة الى العطاءات، لا بد من التحديد الدقيق الواضح لعدد من العوامل الأساسية. وأهم هذه العوامل حجم ونوع نظام المفاعل ونوع التعاقد ونطاق التوريد، والمعلومات المتصلة بالموقع.

وبالنسبة للمحطة النووية الأولى في أية دولة نامية، يجب حصر الاختيار بالنسبة لنظام المفاعل على الأنواع المثبت صلاحيتها فقط، والمطلوب هنا هو تحديد ما اذا كان من الأفضل ترك الباب مفتوحاً للعطاءات لجميع أنظمة المفاعلات المتاحة، أو تحديد اختيار مسبق حتى تقتصر العطاءات على نظام واحد أو انظمة معينة. فعلى سبيل المثال يمكن قصر الاختيار على نظام مفاعلات اليورانيوم المثرى أو الطبيعي، بل وفي حالة مفاعلات اليورانيوم المثرى يمكن قصر الاختيار على نظام مفاعلات الماء المضغوط، أو نظام مفاعلات الماء المغلي.

وان تحضير المواصفات التفصيلية هو أحد المهام الشاملة الواسعة، ويمكن تبسيطها الى درجة كبيرة اذا تم اعدادها بالنسبة لنظام واحد فقط من أنظمة المفاعلات. ويؤدي ذلك ليس فقط الى الاقلال من الجهود المبذولة في الاعداد بل أيضاً الى تقصير الوقت اللازم لتحليل العطاءات وتحديد الاختيار النهائي. والمتغير الثاني الذي يلزم تحديده بدقة في وثائق الدعوة الى تقديم العطاءات هو حجم المحطة أو مدى الأحجام التي يمكن قبولها. وهذا المتغير له أهمية خاصة في تقييم العطاءات ولاجراء المقارنة العادلة والدقيقة بينها وكذلك لتقييمها الفني والاقتصادي. وفي وثائق الدعوة للعطاءات يجب تحديد نوع التعاقد المطلوب، ومجال التوريد والخدمات، بدقة كبيرة ووضوح تام كما يجب النص على الشروط التعاقدية والقانونية، والتحديد التفصيلي لهذه النواحي في وثائق الدعوة للعطاءات يمكن أن تؤدي الى وفر كبير في الجهد والوقت خلال مرحلة التفاوض لابرام التعاقد. ويجب أن تتضمن وثائق طلب العطاءات أيضاً

معلومات عن الموقع بأدق التفاصيل الممكنة ، وخاصة العوامل الحساسة مثل ظروف الزلازل وقدرة تحمل التربة وتوفر مياه التبريد . . . الخ حيث أن هذه العوامل يمكن أن تكون لها انعكاسات كبيرة على التكاليف .

ومن المهم التأكيد بأن التحضير الدقيق الكامل لوثائق الدعوة للعطاءات هو واحد من أهم العوامل التي يمكن أن توفر جزءاً كبيراً من الوقت والجهد والتكاليف في المراحل المتتابعة لتقييم العطاءات والتفاوض على التعاقد .

٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٣ تقييم العطاءات :

ان تقييم العطاءات التي تتقدم بها الشركات العالمية هو أحد المهام الكبيرة ، ولا بد من التحديد الدقيق للأسس التي تتم بمقتضاها المقارنة الاقتصادية والفنية بين تلك العطاءات ، خاصة اذا كانت الفروق بين العطاءات فروقاً كبيرة من حيث نطاق التوريدات والخدمات ، والضمانات ، والالتزام بالمعايير والمواصفات القياسية . وان المساواة بين العطاءات تستلزم الحكم الدقيق على العوامل الاقتصادية والنواحي الفنية الأساسية . وقد يكون من الضروري استخدام طرق متعددة للمقارنة خاصة عند التعامل مع أنظمة مختلفة للمفاعلات . ومن بعض العناصر الهامة التي يجب أخذها في الاعتبار عند تقييم العطاءات هي درجة استجابة المورد للدعوة للعطاء ، ومدى التزامه بالمواصفات ، وارتباطه بنطاق التوريدات والخدمات المطلوبة ، وجودة المعدات ، وتأكيد الجودة ، والضمانات وأداء المحطة . وان المساعدة الشاملة لمكتب استشاري ذي خبرة عالية في هذه المرحلة هي من الأمور الهامة الا انه يجب أن يشارك المهندسون والأفراد الفنيون الوطنيون مشاركة فعالة الى أقصى درجة ممكنة ، مع المتابعة عن قرب لتحاليل وتوصيات المكتب الاستشاري . ويجب أن تقوم المجموعات المحلية باعداد التوصيات والقرارات النهائية على أساس الدراسات التي قام بها المكتب الاستشاري ، وعلى أساس التقييم الدقيق لنتائجه مع أخذ الظروف المحلية في الاعتبار .

٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٤ بيانات الموقع :

يجب البدء في مرحلة متقدمة بقدر الامكان ، بجمع واعداد المعلومات الأولية عن الموقع المختار . ويجب أن يقوم بالبحوث التفصيلية والدراسات الخاصة بالموقع مجموعات متخصصة ومقاولون من الباطن . وتتطلب دراسات الموقع فترات زمنية طويلة خاصة دراسات الارصاد الجوية والدراسات الخاصة بالمياه الجوفية ولذلك يصبح البدء المبكر بهذه الدراسات ذا أهمية كبيرة . ومن المهم كذلك الأخذ في الاعتبار بعض الامدادات الضرورية للعمل في الموقع مثل موارد المياه والكهرباء والمنشآت المؤقتة والطرق...... الخ . ولا بد من اعداد هذه الامدادات في الوقت المناسب حتى يمكن تلافي التأخير غير الضروري والمحافظة على البرنامج الزمني للانشاء والتشغيل .

٥ ـ ٣ ـ ٢ ـ ٥ مفاوضات التعاقد :

ان المهمة الأولى التي يجب انجازها في مرحلة التفاوض بشأن التعاقد هي التحديد الدقيق والواضح لشروط التعاقد ، وتحديد مسؤوليات المورد من ناحية نطاق التوريدات والخدمات والانشاء واحتياجات العمالة الخارجية ، والضمانات والالتزام بالمواصفات والمعايير والتشريعات المطبقة عامة بالنسبة للمحطة . وتكمن الصعوبة الأساسية في هذه المرحلة في أن معظم الموردين يلجأون الى تضييق نطاق التوريدات والمسؤوليات الملقاة على عاتقهم ، ملقين بمجالات واسعة غير محددة المعالم على عاتق مالك المحطة . ويمكن أن يؤدي مثل هذا الوضع الى ارتفاع كبير في تكاليف المشروع بالاضافة الى صعوبات في ادارة وتنفيذ الأعمال والمحافظة على جدول المواعيد . وعلى أية حال فلا بد من توجيه عناية دقيقة لتفادي أي نقص في التعريف الدقيق لنطاق الأعمال ولتحديد المسؤولية عن المشروع كله على عاتق مقاول واحد .

٥ ـ ٣ ـ ٣ مثال الخبرة المصرية في مشروع المحطة النووية الأولى:

لقد كانت اقامة برنامج للقوى النووية في مصر قيد النظر منذ عام ١٩٦٣ وقد أدت دراسات ظروف الشبكة الكهربائية، والتقييم الاقتصادي وكذلك المحطات النووية المتاحة تجاريا في ذلك الوقت، الى اختيار حجم المحطة النووية الأولى بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي. وأعدت مواصفات المشروع خلال عام ١٩٦٤ وطرحت في مناقصة عالمية مفتوحة فقط للمفاعلات معتمدة الصلاحية. وقد تقدمت أربعة من الشركات العالمية بعطاءاتها في هذه المناقصة، هي شركة وستنجهاوس الأمريكية التي تقدمت بمحطة من نوع مفاعلات الماء المضغوط، وكل من شركة جنرال اليكتريك (G.E) الأمريكية وشركة (A.E.G.) الالمانية بمحطة من نوع مفاعلات الماء المغلي، وشركة سيمنز الالمانية بعطاء لمحطة من نوع مفاعلات الماء الثقيل. وقد تم انهاء تقييم العطاءات الأربعة واصدار خطاب النوايا الى شركة وستنجهاوس عام ١٩٦٦، الا انه لم يمكن السير في تنفيذ المشروع وذلك لصعوبة الحصول على التمويل اللازم في الظروف التي انبثقت عن حرب عام ١٩٦٧. وفي عام ١٩٧١ تمت مراجعة شاملة لموقف وظروف القوى والشبكة الكهربائية، وذلك في بحث قدم للمؤتمر الدولي الرابع للاستخدامات السلمية للطاقة الذرية، والذي عقد في جنيف عام ١٩٧١.

ويشمل هذا البحث دراسة امكانية ادخال محطات القوى النووية وادماجها في الشبكة الكهربائية حتى عام ٢٠٠٠، كما تمت صياغة برنامج نووي طويل المدى، وكذلك دراسة الأحجام الاقتصادية المناسبة لمحطات القوى النووية تحت فروض اقتصادية مختلفة.

وفي عام ١٩٧٤، اتخذ القرار بالبدء في البرنامج النووي في ضوء نتائج هذه الدراسة، وذلك بالبدء في مشروع اقامة المحطة النووية الأولى بقدرة ٦٠٠ ميجاوات كهربائي، في موقع على الساحل الشمالي، يبعد ثلاثين كيلومتراً غرب

الاسكندرية (سيدي كرير). وعقب صدور القرار بدأ اتخاذ الخطوات اللازمة لبدء وتنظيم المهام الضرورية لتحقيق هذا المشروع الكبير. وكانت أولى هذه المهام هي اختيار نظام مفاعل المحطة النووية، ووقع الاختيار على نوع مفاعلات الماء العادي التي تستخدم اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة كوقود، وذلك بعد الدراسة الدقيقة للاعتبارات المختلفة والتحليلات التفصيلية المقارنة للنواحي الفنية والاقتصادية، وبحيث يبقى الباب مفتوحاً للمنافسة بين نوعين من المفاعلات وهما نوع الماء المضغوط ونوع الماء المغلي. وبناء عليه تم في يونيو عام ١٩٧٤ ابرام اتفاقية لاثراء الوقود مع لجنة الطاقة الذرية الأمريكية (حاليا هيئة بحوث وتنمية الطاقة). وفي أغسطس ١٩٧٤ تم الانتهاء، من اعداد الدعوة للعطاءات بواسطة وزارة الكهرباء وهيئة الطاقة الذرية. وقد احتوت هذه الدعوة للعطاءات على تغطية عامة للمتطلبات الفنية والتجارية ولكنها لم تتضمن المواصفات التفصيلية. وقد أرسلت الدعوة الى أربعة من الشركات الأمريكية المنتجة للمحطات النووية، ولم تتقدم سوى شركة جنرال الكتريك، وشركة وستنجهاوس الأميركية بعطاءات استجابة لهذه الدعوة، وذلك في فبراير سنة ١٩٧٥. وبعد التقييم الفني والاقتصادي للعطاءين وقع الاختيار على شركة وستنجهاوس للتفاوض بشأن ابرام العقد لتصميم وبناء المحطة النووية، وأصدر خطاب النوايا للشركة المذكورة في مارس ١٩٧٦. ويتم في الوقت الحالي التفاوض مع شركة وستنجهاوس بهدف ابرام عقد يغطي النواحي الفنية والتجارية والتعاقدية والقانونية، والتعريف الدقيق لنطاق مهام المورد في انجاز المشروع مع التعهدات والضمانات الملائمة وجدول التنفيذ. كذلك تم اختيار شركة استشارات هندسية أمريكية (بيرنز اندرو) لتقديم الخدمات الهندسية والمعاونة في النواحي المختلفة أثناء العمل بالمشروع، وكذلك تقييم العطاءات ومفاوضات التعاقد والمهام الأخرى في مرحلة ما قبل التعاقد.

ومن المأمول أن يتم ابرام العقد مع شركة وستنجهاوس خلال عام ١٩٧٩،

ثم يعقب ذلك انشاءات الموقع خلال نفس العام. وعلى أساس الاعتبارات السابقة وفي ضوء الخبرة المكتسبة في مصر أثناء المراحل المختلفة لبدء برنامج القوى النووية، وفي ضوء الخطوات التي تمت بالنسبة لمشروع المحطة النووية الأولى في مصر، يمكن الوصول الى عدد من النتائج المتصلة بتنفيذ المحطات النووية الأولى في الدول النامية. وتتلخص هذه النتائج في النقاط الأساسية الآتية: ـ

١ ـ بعد أن تثبت الدراسات جدوى اقامة المحطة النووية، فان أول القرارات الواجب اتخاذها هو اختيار نظام المفاعل الذي سيتم استخدامه للمحطة النووية. ومن بين الأنواع المتاحة المعتمدة الصلاحية، يكون الاختيار أولا بين أنواع المفاعلات التي تستخدم وقود اليورانيوم الطبيعي أو تلك التي تستخدم وقود اليورانيوم المثرى وان الأسباب الفنية والسياسية والاقتصادية التي تبرر اختيار أي من النوعين معروفة جيداً ولا داعي لاعادة سردها في هذا المجال. الا أن ما يجب تأكيده هو ان الاختيار المسبق لأي من النوعين قبل الدعوة للعطاءات سوف يؤدي الى توفير الكثير من الوقت والجهد والتكلفة عند تقييم نظم لأنواع مختلفة من المفاعلات، والتي غالباً ما تكون ذات أحجام مختلفة. بل انه قد يكون من المرغوب فيه، عند اختيار أنواع مفاعلات وقود اليورانيوم المثرى، تحديد اختيار مسبق قبل الدعوة للعطاءات بين نوعي مفاعلات الماء المضغوط، ومفاعلات الماء المغلي. وقد دلت الخبرة المكتسبة في مصر في عام ١٩٦٤ وعام ١٩٧٤، من خلال نتائج تقييم العطاءات لهذين النوعين من المفاعلات صعوبة اختيار أحد النوعين دون الآخر، بالنظر الى الفروق الطفيفة بين النوعين من حيث الاقتصاديات، وبالنظر الى الاختلاف في نطاق التوريدات والخدمات، والاختلاف في أحجام المحطات التي تقدمها الشركات على أساس انها

التصميمات القياسية المتاحة لديها ، ودون الالتزام بالحجم المنصوص عليه في المواصفات .

٢ ـ عند اعداد الدعوة الى العطاءات لا بد من تحديد نوع العقد المطلوب فاما أن تكون المحطة «تسليم المفتاح» أو توريد محدود أو توريد النظام النووي لتوليد البخار فقط . . . الخ . ويجب أن تحدد وثائق الدعوة الى العطاءات تحديداً دقيقاً ، وبكل التفاصيل الممكنة الشروط التعاقدية والشروط العامة التي سوف تصبح أساس التعاقد مع الشركة التي يرسو عليها العطاء . كما يجب أن يتم تحديد ظروف الموقع وحالته تحديدا دقيقاً . وبالنسبة لنوع وحجم المفاعل فانه يجب تحديدها مع وضع حدود التفاوت المسموح به فيهما ، وفيما يتصل بالحجم فانه يجب ذكر حدود هذا التفاوت بوضوح والالتزام به . وقد يكون من المفيد اضافة المواصفات الفنية التفصيلية ، الا أن فائدتها محدودة بالمقارنة الى الجهد والتكلفة اللازمة لاعدادها ، خاصة وان الشركات الموردة ، وبالذات بالنسبة لأنواع المفاعلات معتمدة الصلاحية ، تتقدم عادة بعطاءات تشتمل على وحدات قياسية من تصميمهم وبمواصفاتهم الخاصة . ومن الأهمية بمكان أن تشتمل وثائق الدعوة للعطاءات على المواصفات القياسية وكذلك المعايير واللوائح التشريعية ومواعيد تطبيقها ، وعلى المفاهيم التصميمية الرئيسية التي يجب على المورد اتباعها .

٣ ـ وكما ذكر من قبل ، بالنسبة لمهمة تقييم العطاءات ، فانه يمكن تبسيطها الى حد كبير بالاختيار المسبق لنوع واحد من المفاعلات ، على سبيل المثال مفاعلات الماء المغلي أو مفاعلات الماء المضغوط أو مفاعلات الماء الثقيل المضغوط أو غيرها . ويجب المحافظة على عنصر المنافسة بين عدد من الشركات الموردة بالنسبة لنفس الحجم ونطاق التوريدات والخدمات المحددة المعالم ، وبالنسبة كذلك للشروط العامة للتعاقد . وليس من العملي

تقييم عطاءات لنوعين أو ثلاثة من أنواع المفاعلات مثل مفاعلات الماء المضغوط، ومفاعلات الماء المغلي ومفاعلات الماء الثقيل المضغوط، اذ أن ذلك سوف يؤدي الى نتائج مربكة لا تساعد على اتخاذ قرار بسهولة.

٤ - وبالنسبة لدولة نامية تسعى لاقامة محطتها النووية الأولى فانه من الضروري على وجه العموم الاستعانة بمكتب استشاري اجنبي من ذوي الخبرة، الا انه يلزم توجيه جهود هذا المكتب الى أعمال معينة ومحددة تحديداً دقيقاً. ويجب توافر مجموعة من الأفراد المحليين ذوي التأهيل المتميز للعمل كنظراء مع خبراء المكتب الاستشاري، ولمتابعة وتقييم النتائج والتوصيات التي يعدها هذا المكتب. ويجب أن تبنى قرارات السلطات المعنية على ما تعرضه مجموعة الخبراء المحليين المسؤولين عن المشروع ويجب عدم ترك هذه المهمة كاملة للمكتب الاستشاري.

٥ - ومن الأعباء الهامة التي يجب تأديتها بعناية، هي بحوث الموقع. ويمكن توفير الكثير من الجهد والوقت والمال في تنفيذ المشروع اذا توافرت بيانات دقيقة ومعطيات عن الموقع في مرحلة متقدمة. فان التصميمات المقدمة من المشتركين في العطاءات التي تعتمد على بيانات غير دقيقة أو بيانات افتراضية للموقع، سوف تتضمن قدراً كبيراً من عدم التحقق بما يقتضي تغييرات رئيسية أثناء مرحلة التفاوض على التعاقد أو بعدها.

٥ - ٣ - ٤ مرحلة التعاقد والتنفيذ:

بعد انتهاء مفاوضات التعاقد على المشروع مع المورد الذي يتم وقوع الاختيار عليه، يلزم أن تتضمن وثائق العقد التعريف الدقيق والواضح لنوع التعاقد الذي تم ابرامه ونطاق مهام المورد وتوزيع المسؤوليات بينه وبين مالك المحطة خلال المراحل المختلفة لجدول التنفيذ المتفق عليه.

ويمكن تلخيص النقاط الرئيسية التي يجدر أخذها في الاعتبار خلال هذه المرحلة فيما يلي : -

أ - يجب التحديد الدقيق الواضح لنوع التعاقد مع المورد الرئيسي للمفاعل وفيما اذا كان العقد تسليم المفتاح « لكل المحطة أو تعاقد على « الجزيرة النووية » أو « مجموعة النظام النووي لتوليد البخار » فقط . ان الفروق الرئيسية بين هذه الأنواع من العقود ، وخاصة في تحديد نطاق المهام أو طرق التنفيذ ، يمكن أن تؤدي الى خلافات خطيرة وتأخير في التنفيذ ، ما لم تكن محددة بوضوح في وثائق العقد وقبل البدء في الأعمال التنفيذية للمشروع .

ب - ومن المتطلبات الضرورية أيضاً ان يتحدد بوضوح تنظيم ادارة المشروع وادارة الانشاء ، كما يجب تحديد مسؤوليات كل من المورد والمالك بالنسبة لهذا الأمر تحديداً واضحاً ، وخاصة بالنسبة للعلاقات المتداخلة بين مالك المحطة والمورد الرئيسي والمقاولين الرئيسيين من الباطن للأعمال المدنية والميكانيكية والكهربائية .

ج - يجب أن تتم الأبحاث التفصيلية للموقع بالاشتراك مع المورد الرئيسي ، وذلك بهدف التحديد الدقيق لموقع انشاء المحطة داخل نطاق المنطقة السابق اختيار اثناء التخطيط للمحطة ودراسات الجدوى المتصلة بها ، على أن يكون من الواضح تحديد مسؤولية المورد الرئيسي عن مناسبة الموقع المختار لاقامة المحطة واستيفائه لمقتضيات الأمان . كما يجب أن يراجع المورد الرئيسي البيانات الفنية الاضافية اللازمة لتصميم المحطة ، ويتحقق من صحتها ، ويجب أن يتضمن العقد بوضوح تحديد المسؤوليات وجدول الأعمال التمهيدية للموقع ، واعداده بالمرافق اللازمة مثل الطرق والكهرباء والمياه والمباني المؤقتة ووسائل الاتصالات وغير ذلك ، وكذلك المسؤولية عن جدول التنفيذ .

د ـ ومن أهم ما يجب أن يتضمنه العقد من بنود بوضوح تام ، هي التعهدات والضمانات التي يقدمها المورد الرئيسي بالنسبة للمحطة كلها واداء الوقود والمواد ودقة التصنيع وضبط وتأكيد الجودة أثناء تصنيع المعدات وانشاء المحطة وقد يكون الوضع بالنسبة لهذه التعهدات والضمانات واضحاً بالنسبة لمحطة « تسليم المفتاح » الا انه بالنسبة لبعض الأنواع الأخرى من العقود التي تتوزع فيها المسؤوليات بين المورد الرئيسي ومقاولين من الباطن ومالك المحطة ، فانه يجب توضيح وتحديد التعهدات والضمانات ، ويجب وضع المسؤولية الكاملة ، في جميع الحالات ، على عاتق المورد الرئيسي وحده .

هـ ـ ويجب أن يعد المورد الرئيسي ، قبل البدء في انشاء المحطة ، تقريراً أولياً عن تحليل الأمان . وهذا التقرير يعتبر واحد من أهم وثائق المحطة ، والتي يجب مراجعتها بدقة من السلطات المعنية ، قبل منح ترخيص انشاء المحطة . ولهذا يجب أن يتم اعداد هذا التقرير بعناية وفي نفس الوقت مع مفاوضات التعاقد والمراحل الأولية للتصميم حتى لا يتعرض بدء تنفيذ المشروع لتأخير غير ضروري .

وتدل الخبرة في بعض البلدان على أن مثل هذا التأخير يمكن أن يطيل الزمن الكلي للتنفيذ بفترة تتراوح من سنة الى سنتين .

وبالنسبة لدولة نامية تبدأ مشروع محطتها النووية الأولى ، فقد لا تكون السلطات المعنية بمنح التراخيص قد تكونت بعد ، أو تكون في المراحل الأولية لتكوينها ، وهنا يجب أن يقدم المورد الرئيسي تعهداً واضحاً باثبات وتأكيد أن المحطة قد تم تصميمها بما يتفق مع اللوائح والمواصفات القياسية ومعايير الأمان في دولة المورد الرئيسي .

ويجب أن ينص العقد بوضوح على أن المورد الرئيسي مسؤول مسؤولية كلية

عن تقديم تقرير تحليل الأمان ، وعلى أن مالك المحطة سوف يقدم فقط البيانات اللازمة المتصلة بالموقع وعن تنظيم الفريق المسؤول عن المشروع من ناحيته. كذلك فان تحديث تقرير تحليل الأمان خلال فترة تصميم واقامة المحطة ، هو واحد من المسؤوليات الأساسية للمورد الرئيسي ، وسوف تساعد هذه المراجعة التأكد من أن التقرير النهائي لتحليل الأمان ، والذي سوف يكون أساساً لمنح الترخيص بتشغيل المحطة ، يعكس بدقة حالة المحطة كما تم بناؤها.

ومن الطرق المفيدة التي غالباً ما يتم اللجوء اليها ، أن يحدد المورد احدى المحطات التي قام أو يقوم ببنائها في بلاده أو في غيرها تؤخذ كمرجع يستشهد به. وهذه المحطة المستشهد بها تساعد على اثبات أمان المحطة وصلاحيتها للترخيص ، الا أن اللجوء الى مفهوم المحطة المستشهد بها ، يقتضي اختيار محطة قريبة الصلة بالمحطة المزمع اقامتها من حيث النوع والحجم وكل التفاصيل التصميمية ، بما في ذلك التغييرات التي طرأت على التصميم خلال مراحل تنفيذ هذه المحطة. ولا يجب أن تكون المحطة المستشهد بها قد أقيمت منذ أمد بعيد حتى يمكن اعتبارها ممثلة لأحدث مراحل التكنولوجيا.

ومما يجدر النصح به بالنسبة لكل النواحي السابق الاشارة اليها ، أن يقوم مكتب خبرة مختص وخارجي بمعاونة المجموعة المسؤولة عن اقامة المحطة من طرف المالك ، وذلك بتقديم المشورة والمساعدة والخبراء اللازمين أثناء مراجعة التصميم ، وفي المسائل المتصلة بالأمان ، وفي الاشراف على الأعمال التي ينفذها المقاولون أثناء المراحل المختلفة لاقامة المحطة ، وعمليات القبول والاستلام واختبارها وتشغيلها.

٥ - ٤ المتطلبات القانونية والتنظيمية:

هناك بعض الاعتبارات الهامة القانونية والتنظيمية التي يجب أخذها في الاعتبار عند تنفيذ برنامج للقوى النووية في دولة نامية ، وذلك في المراحل

الأولى من تنمية البرنامج النووي.

وهذه المتطلبات القانونية والتنظيمية لأزمة لوضع قواعد ونظم منح التراخيص، ولتغطية المسؤولية عن الاضرار النووية التي تقع للطرف الثالث. ومنح الترخيص من المتطلبات الضرورية عند اقامة وتشغيل محطات القوى النووية للتأكد من أن تصميم المحطة وانشائها وتشغيلها، تعكس بكفاءة معايير ومقاييس الأمان التي تتطلبها الطبيعة الخاصة للطاقة النووية. ويجب أن يكون لدى حكومة الدولة المعنية السلطات القانونية والتنظيمات التشريعية القادرة على تشريع وتنظيم الأنشطة النووية للأغراض السلمية والرقابة والاشراف الفعال عليها. ومن الضروري أن يكون هناك تشريع نووي خاص لاعطاء الاطار القانوني لهذا الغرض. وان العناصر الأولية لمثل هذا التشريع تتضمن الآتي: ـ

أ ـ الوقاية من الاشعاعات والأمور المتصلة بها مثل الوسائل الخاصة بتداول ونقل المواد النووية.

ب ـ سلطات منح التراخيص ومتطلبات ترخيص المنشآت النووية وترخيص مواقع محطات القوى النووية.

ج ـ نظام خاص لتأكيد الحماية الكافية للطرف الثالث عن الاضرار النووية التي قد تنجم عن حادثة نووية.

وفي نطاق مثل هذا الاطار التشريعي يمكن تأسيس السلطة التنظيمية الضرورية للقيام بالمهام والمسؤوليات القانونية ولاتخاذ الاجراءات اللازمة المتصلة بتنمية القوى النووية.



الملاحق

ملحق [أ]

الاعتبارات الدولية للقوى النووية

(١) الضمانات :

بدأ تطبيق أنظمة الضمانات على أسس ثنائية ، حيث تضمنت اتفاقيات التعاون الثنائية المبرمة بين الدول المتقدمة صناعياً وغيرها من الدول ، بنوداً لتطبيق نظم الضمانات على صادراتها من المواد والمنشآت النووية . وقد نصت شروط الضمان على أن يكون للدولة المصدرة الحق في التفتيش على المواد والمنشآت المصدرة للتحقق من عدم استخدامها للأغراض العسكرية .

وبعد ذلك عهدت الولايات المتحدة الأمريكية ، وغيرها من الدول المصدرة ، الى الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، مسؤولية تطبيق نظم الضمانات الثنائية ، وذلك بمقتضى نظام ضمانات هذه الوكالة ، والذي أعده وأقره مجلس المحافظين لها ، وتم نشره في الوثيقة المرقمة (INFCIRC/66/Rev.-2) . وقد اقتصر تطبيق نظام ضمانات الوكالة على المواد والمنشآت النووية الخاضعة لهذا النظام ، وكذلك على المواد والمعونة الفنية التي تقدمها الوكالة الدولية للطاقة الذرية . وقد نصت اللائحة الأساسية للوكالة الدولية للطاقة الذرية على تحديد أهداف نظام الضمانات في «أن تتأكد الوكالة ، بقدر ما تستطيع ، من أن المعونة المقدمة منها ، أو بناء على طلبها ، أو تحت اشرافها أو رقابتها ، لن تستخدم بطريقة أو بأخرى لمساندة أية أغراض عسكرية » .

وقد اقتصر نظام ضمانات الوكالة في بادىء الأمر ، على المعدات الصغيرة غير الحساسة. وعندما بدأ تطبيق أول نظام للضمانات بواسطة الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٦٠. اقتصر هذا النظام على طلب التقارير والتفتيش على المفاعلات التي لا تتعدى قدراتها ١٠٠ ميجاوات حراري فقط ، الا أن هذا النظام قد طور فيما بعد ليشمل جميع المفاعلات دون وضع أية حدود لأحجامها ، كذلك اتسع نظام الضمان ليطبق ليس فقط على المواد والمعدات التي يتم توريدها تحت بنوده ، بل كذلك على كل المواد الانشطارية التي تنتج عن هذه المواد ، أو عن استخدام المعدات الموردة. ثم أخيراً في عام ١٩٦٥ ، امتد ليطبق كذلك على منشآت اعادة معالجة الوقود المحترق.

وبذلك تطور نظام ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية حتى أصبح يطبق على جميع خطوات دائرة الوقود ، فيما عدا تزويد اليورانيوم. كما أصبح قبول هذا النظام شرطاً ضرورياً تطلبه جميع الدول المصدرة لتقديم المعونة الثنائية في توريد المواد والمعدات والمنشآت النووية. وأصبح تصدير محطات القوى النووية والمعدات الأخرى من الدول المصدرة الى الدول النامية ، يقتضي ابرام اتفاقية تعاون تنص على قبول تطبيق نظام ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية. هذا بالاضافة الى ما يتطلبه قانون عدم انتشار الأسلحة النووية والذي أجازته الولايات المتحدة في مارس ١٩٧٨ ، من قبول ضمانات شاملة على كل الأنشطة النووية في الدولة المستوردة ، كشرط للتعاون في هذا المجال. ويشمل ذلك الأنشطة الحالية ، أو المستقبلة ، أو التي يتم انشاؤها بناء على المساعدات والتكنولوجيا المقدمة من الولايات المتحدة.

(٢) معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية (NPT) :

وجهت الدعوة الى الدول للتوقيع على معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية اعتباراً من أول يوليو ١٩٦٨ ، وأصبحت سارية المفعول اعتباراً من ٥

مارس سنة ١٩٧٠ ، وهذه تعتبر احدى الترتيبات الأساسية في سبيل مواجهة أخطار انتشار الأسلحة النووية ، عن طريق تحويل الأنشطة النووية السلمية الى الأغراض العسكرية .

وقد أدى نجاح مفاوضات هذه المعاهدة الهامة ، الى اكتساب الوكالة الدولية للطاقة الذرية لدور جديد وأكثر أهمية عما كان الوضع عليه قبل هذه المعاهدة من حيث تطبيق نظام الضمانات . وينص البند الثالث للمعاهدة على تطبيق نظام الضمانات على كل مصادر المواد الانشطارية أو المواد الانشطارية الخاصة الداخلة في كل الأنشطة النووية السلمية للدول الأطراف في المعاهدة ، أو التي تقع تحت ولايتها أو رقابتها في أي مكان . وقد أدى ذلك الى مراجعة شاملة لنظام ضمانات الوكالة خلال عام ١٩٧٠ ، بغرض تطويعه للتطبيق على الدول الأطراف في المعاهدة بما يتفق مع المبادئ التي اشتملت عليها هذه المعاهدة . ووفقاً لهذه المراجعة ، أعدت لجنة الضمانات وثيقة جديدة أقرها مجلس المحافظين للوكالة في عام ١٩٧١ . وتشتمل هذه الوثيقة على نموذج للاتفاقية التي يطلب الى الدول المعنية التفاوض بشأنها مع الوكالة .

ومن العناصر الهامة في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية ، شروط البندين الرابع والخامس . وينص هذان البندان على أن تعمل الدول الأطراف في المعاهدة سواء بمفردها أو مع بعضها البعض أو مع المنظمات الدولية ، على المساهمة في استمرار تطوير تطبيقات الطاقة النووية للأغراض السلمية ، وخاصة في أراضي الدول غير النووية الأطراف في المعاهدة ، مع أخذ احتياجات مناطق العالم النامية في الاعتبار . كذلك ينص البند الخامس من المعاهدة على أن تتعهد الدول الأطراف باتخاذ الاجراءات المناسبة للتحقق من أن الفوائد الكامنة في التطبيقات السلمية للتفجيرات النووية ، سوف تتاح للدول غير النووية الأطراف في المعاهدة دون أية تفرقة بينها ، وتحت نظم ومراقبة دولية مناسبة ، وعلى أن تكون تكلفة المعدات المتفجرة منخفضة بقدر

الامكان ولا تشتمل على تكاليف الأبحاث والتطوير. وجدير بالذكر أن هذه المزايا الواضحة، والتي منحتها معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية للدول غير النووية في مقابل تعهدها بالتخلي عن انتاج الأسلحة النووية، وقبولها لنظام الضمانات على كل أنشطتها النووية، لم يتم تحقيقها بعد، على عكس الآمال التي علقتها الدول الأطراف على تلك المعاهدة، وبكل حسن النوايا في الوعود التي قطعتها على نفسها الدول النووية الأطراف التي انضمت للمعاهدة.

وعلى الرغم من كل ذلك فقد صدقت حتى الآن ١٠٦ دولة على المعاهدة من بينها ثلاثة من الدول النووية هي الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة. كما أبرمت الوكالة الدولية للطاقة الذرية ٧٥ اتفاقية للضمانات بمقتضى هذه المعاهدة مع الدول غير النووية. وما زال هناك عدد آخر من الاتفاقيات في مرحلة التفاوض. وتقوم الوكالة الدولية للطاقة الذرية حالياً بتطبيق نظام الضمانات على نطاق واسع، ليس فقط عن طريق الاتفاقيات مع الدول الأطراف في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية، بل كذلك عن طريق تطبيق نظام ضمانات الوكالة ذاتها، في اثنتي عشر دولة ليست أطرافاً في المعاهدة، وهي الأرجنتين والبرازيل وشيلي وكولومبيا وكوريا والهند وأندونيسيا واسرائيل وباكستان وجنوب أفريقيا واسبانيا وتركيا، وذلك في نطاق اتفاقيات التعاون المبرمة بين هذه الدول والدول النووية المصدرة.

وقد مكنت معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية من وجود نظام مستقر للتعاون الدولي دون أن تعكره أية خلافات وذلك حتى عام ١٩٧٤. وحتى ذلك الوقت كان هناك شبه اجماع على امكانية التعاون الدولي نحو تطوير التكنولوجيا النووية، للأغراض السلمية مع الاحتفاظ بخطر انتشار الأسلحة النووية محصوراً في أضيق نطاق بفضل نظام الضمانات الدولية الذي يهدف الى كشف أية مخالفة أو حيود عن تعهدات الاستخدامات السلمية للطاقة النووية وبالتالي منعها. وخلال هذه الفترة أمكن تنمية التعاون النووي الدولي بمعدلات

حكمتها أساساً الاعتبارات التقنية والاقتصادية والبيئية والتجارية، دون أية قيود ملموسة أملتها مخاوف انتشار الأسلحة النووية.

(٣) القوى النووية وانتشار الأسلحة النووية:

لقد كانت العلاقة بين تنمية القوى النووية لامداد العالم باحتياجاته الماسة من الطاقة، وما يصاحب ذلك من انتشار التقنية النووية والمواد النووية التي يمكن استخدامها لانتاج الأسلحة النووية، محوراً للجدل والمناقشة على أوسع نطاق خلال السنوات القليلة الماضية.

وقد تضمن هذا الجدل عدداً كبيراً من القضايا والمشاكل المعقدة، التي سببت كثيراً من القلق بشأن مستقبل القوى النووية سواء عند معظم الدول المتقدمة صناعياً أو الدول النامية التي تحتاج احتياجاً شديداً الى القوى النووية. وقد كانت القضية الرئيسية وراء هذا القلق هو حقيقة أن كل أشكال الانشطار النووي سواء كان في مفاعل صغير للأبحاث أو في مفاعل كبير لانتاج القوى النووية، يتضمن استخدام اليورانيوم ٢٣٥ الانشطاري وينتج البلوتونيوم ٢٣٩، وهي مادة انشطارية كذلك. وهاتان المادتان يمكن استخدامهما لصناعة مفجر نووي، تماماً كما يمكن استخدامهما لانتاج الطاقة. وجميع المفاعلات التي تستخدم سواء اليورانيوم الطبيعي أو اليورانيوم المثرى بنسبة صغيرة، تنتج البلوتونيوم ٢٣٩ كناتج ثانوي، وهذه الأنواع من المفاعلات هي التي تستخدم في كل محطات القوى الشغالة حالياً. ولا تمثل هذه المفاعلات في حد ذاتها مخاطرة كبيرة تؤدي الى حيازة الأسلحة النووية، اذ يختلط البلوتونيوم المنتج فيها داخل عناصر الوقود المستنفد بنواتج انشطارية ذات اشعاعية عالية ويحتاج استخدام البلوتونيوم في الأسلحة النووية الى فصله من أعمدة الوقود المستنفذ. ومن هنا فان منشآت اعادة معالجة الوقود المستنفذ لفصل البلوتونيوم كيميائياً تعتبر العنصر الأساسي نحو حيازة الأسلحة النووية

لأية دولة. وعلى هذا الأساس، فقد كانت احدى القضايا الأساسية في المناقشات التي تدور حول المواءمة بين الاحتياجات الى الطاقة والاقلال من أخطار انتشار الاسلحة النووية الى الحد الأدنى هي قضية اعادة معالجة الوقود المستنفذ بهدف استخلاص البلوتونيوم المنتج واليورانيوم ٢٣٥ المتبقى. ويكمن مثار الخلاف في حقيقة أن البلوتونيوم ٢٣٩، يمكن استخدامه لانتاج الأسلحة النووية، وهو في نفس الوقت مصدر اضافي لانتاج الطاقة. والمعارضة التي تواجهها اعادة المعالجة تقوم على أساس أن تلك المواد الانشطارية التي يتم استخلاصها من الوقود المستنفذ عند اعادة المعالجة، يمكن توجيهها لانتاج الأسلحة النووية، كما يمكن أن تكون مصدر تهديد كبير اذا ما استولت عليها جماعات ارهابية أو تخريبية.

وتكمن وجهة النظر الأخرى في قضية اعادة المعالجة واستخدام البلوتونيوم ٢٣٩ الذي يتم فصله، في تحقيق أقصى الاستفادة من مصادر الطاقة باعادة استخدام البلوتونيوم ٢٣٩، واليورانيوم ٢٣٥ الذي يتم استخلاصهما كوقود للمفاعلات الحرارية أو اعادة تزويد المفاعلات السريعة المتوالدة بالوقود مستقبلا. والمزايا الاقتصادية لاعادة استخدام البلوتونيوم ٢٣٩ كوقود في المفاعلات السريعة المتوالدة، تكمن في زيادة كفاءة استخدام موارد اليورانيوم الطبيعي المتاحة والمحدودة حالياً، اذ يمكن مضاعفة الطاقة المستخلصة من انشطار نظائر اليورانيوم الى ما يصل الى نحو ستين ضعفاً.

وفي ضوء هذه المزايا الاقتصادية الواضحة، ومع التناقص المتزايد في مصادر الطاقة التقليدية، فانه يصعب على الكثير من الدول الموافقة على تأجيل اعمال اعادة معالجة الوقود المستنفذ كوسيلة نحو تحديد أخطار انتشار الأسلحة النووية.

وتسبب مشكلة التوفيق بين احتياجات الطاقة واحتياجات منع انتشار الأسلحة النووية العديد من الصعوبات التي تقف حائلاً دون تنمية القوى

النووية ونقل التكنولوجيا النووية بالقدر الملائم. وقد أصبح توريد محطات القوى النووية، ومواد وخدمات دائرة الوقود المرتبطة بها، يخضع للعديد من الاجراءات والقيود التي تنطوي على ارتباطات سياسية وترتيبات دولية حتى بالنسبة للدول التي صدقت على معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية. ومثال لذلك فان اتفاقيات التعاون التي تبرمها الولايات المتحدة الأمريكية، وبعض الدول المصدرة الأخرى، والخاصة بالتعاون في مجال الطاقة النووية، تنطوي على متطلبات خاصة بالضمانات، وذلك بالاضافة الى النظامين الرئيسيين القائمين حالياً بشأن منع انتشار الأسلحة النووية، وهما المعاهدة السابق الاشارة اليها ونظم الضمانات المرتبطة بها، وكذلك نظام ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وتشتمل هذه الاتفاقيات على قبول مسبق لضمانات شاملة على كل الأنشطة النووية الحالية والمستقبلة للدولة، وليس فقط على المنشآت والمواد التي يتم توريدها من خلال اتفاقية التعاون المبرمة ذاتها.

ان الدراسات الدولية لتقييم دورة الوقود النووي، والتي بدأتها الولايات المتحدة الأمريكية في أكتوبر ١٩٧٧، وتشارك فيها أكثر من ٦٠ دولة من الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية، سواء من الدول المصدرة أو المستوردة، تتيح فرصة نادرة للمجتمع النووي العالمي للتغلب على الصعوبات القائمة حالياً، كما يمكن أن تتيح كذلك الطرق والوسائل التي تساعد على الوصول الى اتفاق دولي، يحافظ ويساعد على سد احتياجات الدول من الطاقة النووية والتكنولوجيا النووية، مع تقليل مخاطر انتشار الأسلحة النووية الى الحد الأدنى.

ومن خلال الدراسات الدولية لتقييم دورة الوقود النووي، تقوم حالياً ثمان مجموعات باجراء العديد من الدراسات في هذا المجال، كما تقوم لجنة التنسيق الفنية المنبثقة عن هذا النظام بمناقشة المسائل المتعلقة بدورة الوقود النووي. هذا بالاضافة الى ما تبذله العديد من الهيئات والمؤتمرات الدولية من جهود

في هذا المجال. ولا شك أن كل هذه الدراسات والمناقشات والجهود سوف ترفق في ايجاد حلول للمشاكل والصعوبات القائمة بين الدول المصدرة والدول المستوردة، كما سوف تنجح في وضع استراتيجية مقبولة للتنمية النووية، تقوم على الثقة المتبادلة والتفاهم والموافقة الدولية، ويمكن أن تلقى قبول المجتمع الدولي وتحظى باجماع تأييده.

وقد يكون من الصعب التكهن بنتائج هذه المناقشات، الا أنه يمكن تلخيص عدد من الموضوعات الهامة التي انبثقت عن الفيض المتدفق من الأفكار التي طرحت أثناء الدراسات والمناقشات المكثفة، والتي نوردها فيما يلي:

أ - أنه لا يمكن التحكم في انتشار الأسلحة النووية عن طريق الحد من تنمية القوى النووية، أو عن طريق وضع القيود الفنية الأخرى، أو عن طريق انكار أو رفض نقل التكنولوجيا النووية.

ب - ان مشكلة انتشار الأسلحة النووية هي مشكلة سياسية في المقام الأول وعلى ذلك فانه يجب حلها عن طريق الوسائل السياسية والترتيبات القانونية الملائمة.

ج - ان الترتيبات الدولية القائمة، وهي نظام ضمانات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومعاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية، تمثل حجر الزاوية في التقليل من أخطار انتشار الأسلحة النووية الى الحد الأدنى.

د - انه يجب تحسين وتدعيم كل من معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية ونظام ضمانات الوكالة حتى يمكن زيادة فعاليتها وكفاءتها في الاقلال من انتشار الأسلحة النووية.

هـ - ان على الدول النووية أن تحترم الوعود التي ارتبطت بها في معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية قبل الدول غير النووية وان توفي بما

التزمت به من الحوافز التي وعدت باتاحتها من فوائد الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية للدول غير النووية في مقابل قبولهم لأحكام معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية ، ومنها تعهدهم بالتخلي عن انتاج الأسلحة النووية وقبول نظام الضمانات .

و - ان الترتيبات القانونية المقترحة بالنسبة لمنشآت دائرة الوقود ، مثل المراكز المكونـة من دول متعـددة لمعـالجـة الوقود المستنفـذ وتخزين البلوتونيوم ، وغير ذلك من خدمات دائرة الوقود يمكن ان تتيح وسائل اضافية فعالة لتحقيق أهداف عدم انتشار الأسلحة النووية دون أن تعيق مزايا اعادة استخدام البلوتونيوم سواء في المفاعلات الحرارية أو في المفاعلات السريعة المتوالدة حالياً أو مستقبلا .

ز - ان مثل هذه الترتيبات القانونية من قبل دول متعددة يمكن ان تتيح خدمات دورة الوقود للدول المشاركة فيها ، دون أية تفرقة ، كما يمكن أن تتيح استخدام الناتج من البلوتونيوم الانشطاري عندما يصبح لهذا الاستخدام ما يبرره من حيث المزايا الاقتصادية والاحتياجات الفنية .

ح - ان دراسة الترتيبات الدولية الممكنة لتداول وتخزين البلوتونيوم ، تعتبر من بين الاجراءات الفعالة للحد من انتشار الأسلحة النووية كما سوف تتيح الحصول على البلوتونيوم اذا ما برزت الحاجة الى استخدامه. واذا أمكن اقامة هذا النظام فانه سوف يتيح وسائل للرقابة الدولية على البلوتونيوم الذي يتم استخلاصه ومراقبة أماكن تواجده ، كما أن النواحي المختلفة المتصلة باقامة مثل هذه المخازن الدولية للبلوتونيوم هي محل للدراسة والمناقشة في الوقت الحالي في الوكالة الدولية للطاقة الذرية بواسطة عدد كبير من الدول الأعضاء فيها .

(٤) حماية المواد والمعدات النووية:

أصبحت الحماية المادية للمواد والمنشآت النووية أحد الموضوعات الرئيسية التي تجذب اهتماماً عالمياً متزايداً خلال السنوات الأخيرة الماضية. وذلك للقلق المتزايد من احتمالات تهديد هذه المواد أو المنشآت من الجماعات الارهابية أو التخريبية، بهدف الاستيلاء على المواد النووية أو الانحراف باستعمال المنشآت النووية الحساسة.

وفي عام ١٩٧٢ أصدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مجموعة من التوصيات التي تتصل بالاجراءات التنظيمية والفنية التي ينصح بتطبيقها للحماية المادية للمواد النووية أثناء استخدامها أو تخزينها داخل أي دولة أو أثناء نقلها محلياً أو دولياً. وقد تضمنت احدى وثائق الوكالة هذه التوصيات وتم تحديثها عام ١٩٧٥، على ضوء ما تم اكتسابه من خبرة، وما تم احرازه من تقدم في الدول الأعضاء في الوكالة، وهذه الوثيقة رقم (INFCIRC /225/Rev.1).

وتتضمن هذه التوصيات تصنيفاً لمستويات المواد النووية لضمان وكفالة علاقة ملائمة بين اجراءات الحماية اللازمة والمواد المطلوب حمايتها. ويعتمد هذا التصنيف على مدى الأخطار التي تكمن في اساءة استخدام هذه المواد أو في الانحراف بها الى انتاج الأسلحة النووية. ومدى هذه الأخطار يتوقف بلا شك على كمية المادة ونوعها وتركيبها الكيميائي والفيزيائي، والمستوى الاشعاعي لها. ولا بد من الاشارة هنا الى أن هناك فروقاً قاطعة بين نظام الضمانات الذي تطبقه هيئة دولية أو دولة أخرى غير تلك التي تقع فيها المنشآت النووية الخاضعة لهذا النظام، ونظام الحماية المادية والذي تكون فيه الدولة المعنية هي المسؤولة مسؤولية كاملة عن تطبيقه واتخاذ الاجراءات اللازمة لحماية المواد النووية داخل حدودها. الا أن هناك عدداً من الموضوعات التي تتطلب الاتفاق الدولي بشأنها حتى يمكن التنسيق بين الاجراءات التي

تتخذها الدول الأعضاء وخاصة أثناء النقل عبر الدول المختلفة أو النقل الدولي . وتجري في الوقت الحالي مباحثات بين الدول من خلال الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، لصياغة اتفاقية دولية لتحديد الحد الأدنى من المعايير والاجراءات اللازمة للحماية المادية ، وخاصة للمواد النووية أثناء النقل الدولي ، ولتحديد شكل الاجراءات الدولية التي يتفق عليها ، والتزامات الدول في مجال الحماية المادية .

وتنظم الوكالة الدولية للطاقة الذرية ، في اطار برنامج المساعدات الفنية مجموعة من البرامج التدريبية للأفراد من الدول الأعضاء في مجال الحماية المادية للمواد النووية .

وقد تم تنظيم الدورة الأولى من هذه البرامج في معامل « سانديا » في مدينة ألباكيرك بالولايات المتحدة عام ١٩٧٨ . وتركز الاهتام في هذه الدورة على تصميم نظم الحماية المادية لمحطات القوى النووية من طراز الماء العادي ، وبخاصة للحماية ضد أخطار التخريب الذي قد يؤدي الى حوادث اشعاعية ، دون الاهتام بوسائل الحماية ضد سرقة المواد النووية المستخدمة والمخزونة في هذه المنشآت حيث أن التهديد بسرقة هذه المواد يشكل خطورة تقل كثيراً عن خطورة تخريب المنشآت النووية .

وقد اشتملت الدورة أيضاً على تصميم وتقييم نظم الحماية المادية مع الاهتام على وجه الخصوص بالنواحي التنظيمية والأجهزة الفنية ومنهجية النظم المستخدمة . ومن المنتظر أن تنظم الوكالة الدولية للطاقة الذرية دورات أخرى في هذا المجال خلال عام ١٩٧٩ . ومن المأمول أن يتم التعاون بين الدول الأعضاء ويزداد تبادل المعلومات فيما بينها .

(٥) المراكز الاقليمية لدورات الوقود النووية :

لقد تم نقاش واسع حول فكرة انشاء مراكز اقليمية لدورات الوقود

النووي ، أو اقامة ترتيبات لهذا الغرض تشمل مجموعة من الدول وذلك في نطاق مباحثات معاهدة حظر انتشار الأسلحة النووية. وفي خلال الفترة من ١٩٧٥ الى ١٩٧٧ تم القيام بدراسة تفصيلية موسعة حول اقامة منشآت اقليمية لاعادة معالجة الوقود المستنفذ وتداول الفضلات المشعة وقامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية بنشر نتائج هذه الدراسة في احدى وثائقها. وقد اعتمدت هذه الدراسة الموسعة على دراسة أولية قامت بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية عام ١٩٧٥ .. لتقييم المزايا الاقتصادية التي يرجى الحصول عليها من اقامة منشآت اقليمية لاعادة معالجة الوقود المستنفذ وتداول الفضلات المشعة.

وقد استهدفت هذه الدراسة تحديد مناهج التنسيق والتعاون بين الدول الأعضاء لتحقيق الفائدة القصوى من استراتيجية دورة الوقود النووي. وقد غطى تقرير هذه الدراسة الأنشطة المتسعة في مجال دورة الوقود النووي ، بما في ذلك نقل الوقود وتخزينه وكذلك جميع خطوات اعادة المعالجة واعادة استخدام الوقود ، بدءاً من اللحظة التي يخرج فيها الوقود النووي المستنفذ من المفاعل والخطوات اللاحقة لذلك الى أن يصبح الوقود المجدد في شكل عناصر الوقود الملائمة ، ومعداً للشحن لاعادة استخدامه في المفاعل. واشتملت الدراسة كذلك على الأنشطة المتصلة بتداول الفضلات المشعة التي تتولد خلال دورة الوقود.

وقد تتباين الدول الداخلة في مجموعة اقليمية من حيث مستويات أنشطتها النووية. ومع ذلك فان فكرة أو مفهوم المركز الاقليمي يمكن تطويعها بحيث يصبح مثل هذا المركز صالحاً لأي مجموعة من الدول الأعضاء ترغب في التعاون لاقامته ، باعتباره مركزاً لدول متعددة ، ودون ما ضرورة لأن تكون هذه الدول منتمية لنفس الاقليم الجغرافي.

وبالرغم مما يتم من مناقشات مكثفة حول مفهوم المراكز الاقليمية من خلال « التقييم الدولي لدورة الوقود النووي » وفي غيرها من المؤتمرات والاجتماعات

الدولية ، فان الوقت لم يحن بعد للتكهن بما سوف تسفر هذه المناقشات والدراسات بل انه من الصعب التكهن بما اذا كانت هذه المناقشات والدراسات سوف تسفر عن اتفاق حول الترتيبات العملية لاقامة مثل هذه المراكز.

وعلى أية حال ، فانه يتضح من نتائج الدراسات التي أجريت حتى الآن ، ومن المناقشات التي تمت حول هذا الموضوع ، أن هناك مزايا هامة أو حوافز اقتصادية وفنية مجزية لاقامة مثل هذه المراكز. فان وجود واتاحة مراكز اقليمية أو متعددة الجنسيات لدورة الوقود النووي سوف يحقق مزايا اقتصادية كبيرة للدول المشاركة ، كما سوف يتيح في نفس الوقت ظروفاً تعد بالاقلال من احتمالات الانحراف باستخدام المواد النووية أو انتشار الأسلحة النووية. كما سوف تتيح هذه المراكز خدمات دورة الوقود النووي ، دون تفرقة بين الدول التي تحتاج الى استخدام البلوتونيوم الذي يتم فصله ، مع الوثوق من أن حركة واستخدام هذا البلوتونيوم تتمان في دراية من المجتمع الدولي بما يسهل مراقبتها بعناية.

وتوجه الجهود بالاضافة الى ذلك ، للوصول الى اتفاق دولي حول نظام لتداول البلوتونيوم وتخزينه. ويهدف تطوير هذا النظام الى اخضاع استخدام البلوتونيوم ، أو اعادته بعد المعالجة لأية دولة ، الى الرقابة الدولية ونظام الضمانات ، ولا شك أن الوصول الى مثل هذا النظام سوف يقلل الى الحد الأدنى من أخطار انتشار الأسلحة النووية التي قد تنشأ عن تخزين الوقود المستنفذ أو اعادة معالجته ، هذا مع اتاحة البلوتونيوم ، اذا لزم الأمر ، لمقابلة احتياجات انتاج الطاقة.

ملحق [ب]

الآثار الصحية والأمانية والبيئية لمحطات القوى النووية

لا شك أن استخدام القوى النووية لانتاج الكهرباء تصاحبه بعض المخاطر على صحة الانسان وبعض الآثار على بيئته. ولقد كانت هذه المخاطر هدفاً لمبالغات كبيرة في المناقشات العامة كما استخدمت على نطاق واسع من المعارضين للقوى النووية في معارضتهم لها. ويواصل الرافضون للقوى النووية مهاجمتها على انها مصدر خطر غير مقبول لانتاج الطاقة، وتنطوي على أخطار على الصحة، ومشاكل في التخلص من النفايات عالية الاشعاعية، وفي نشر تكنولوجيا يمكن استغلالها لانتاج الأسلحة النووية.

وحتى يمكن وضع تقييم صحيح للمخاطر التي تنطوي عليها المحطات النووية، لا بد لنا من الاختبار الدقيق للحقائق المتصلة بطبيعة وآثار الاشعاع، وكذلك للخبرات المتعلقة بتشغيل المحطات النووية، والسمات التصميمية لوسائل الأمان بها. ان مجموع صافي القدرات الكهربائية للمحطات النووية الشغالة حالياً في ٢١ دولة تزيد عن ١٠٠٠٠٠ ميجاوات، تستخدم فيها ٢١٥ مفاعلا قويا. ولم يؤد هذا العدد الكبير من المحطات خلال الخمسة وعشرين سنة من تاريخ تشغيل المحطات النووية، الى أي تعرض اشعاعي ذي بال للانسان أو بيئته. ويمكن القول بانه بعد ما يزيد عن ألف مفاعل ـ سنة من التشغيل في المحطات النووية، لم يصب أو يقتل انسان واحد، في أي جزء من العالم، نتيجة للاشعاع من محطة نووية.

(١) طبيعة الأخطار الاشعاعية:

يرتبط الاشعاع بالمحطات النووية وكذلك بمنشآت دورة الوقود النووي. والأنواع الأساسية للاشعاع ذات الأهمية من ناحية تأثيرها البيولوجي، هي جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وأشعة جاما، والنيوترونات. وتؤثر هذه الاشعاعات على المواد البيولوجية عن طريق انتقال الطاقة بما يؤدي الى تلف الذرات والجزيئات بتحطيم الرابطة الكيميائية وكذلك بالتأمين، وبالنسبة لجسيمات ألفا والنيوترونات، فان قدرتها على اختراق المواد ليست كبيرة، وتكفي الطبقات الخارجية لجلد الانسان لوقف نفاذها، أما أشعة جاما وجزيئات بيتا فان لها قدرة نفاذ أكبر كثيراً.

والتدمير البيولوجي الناتج عن هذه الأنواع المختلفة من الاشعاع يتم قياسه عن طريق تقدير كمية الاشعاع التي تمتصها الأنسجة، ويعبر عنها بوحدة اسمها «راد» (والراد هو كمية الاشعاع التي ترسب من الطاقة مقدار ١٠٠ إرج في كل جرام من الأنسجة). وتستخدم في بعض الأحيان وحدة أخرى تسمى «ريم» وذلك للتعبير عن الاختلاف في درجة امتصاص الطاقة والفعالية البيولوجية بالنسبة للأنواع المختلفة من الاشعاع. والريم هو جرعة الاشعاع المكافىء رجل وتستخدم هذه الوحدة في التعبير عن جرعات التعرض الاشعاعي.

وتأثير «راد» واحد من أشعة بيتا أو جاما له ما يعادل جرعة ١ «ريم» من التأثير البيولوجي، بينما تكون تأثير «راد» واحد من أشعة الفا معادلا لجرعة قدرها ٢٠ ريم، وبالنسبة للنيوترونات يعادل «راد» واحد جرعة تساوي ١٠ ريم. ويمكن بفحص الجرعات التي تتعرض لها مجموعات من السكان من مصادر مختلفة وخاصة العاملون في المحطات النووية، تقييم المخاطر الاشعاعية.

ان أكبر جرعة اشعاعية يتعرض لها الانسان ما زالت تأتي من المصادر الطبيعية مثل الأشعة الكونية ، وأشعة جاما الأرضية ، والبوتاسيوم ، والراديوم ، والبولونيوم في أنسجة وعظام الانسان ، ومنتجات الرادون المترسب في القصبة والشعب الهوائية أثناء التنفس ، وغير ذلك من العناصر المشعة طبيعياً في الجسم الانساني . ويصل متوسط الجرعة الكلية التي يتعرض لها الفرد من كل هذه المصادر الى حوالي ١٠٠ ملي ريم في السنة . ويتعرض الانسان الى هذه الجرعة باستمرار بمعدلات صغيرة جداً .

والجرعة التي يتعرض لها الانسان من خلال تشغيل المحطات النووية ، والتي لها قيمة من حيث تقدير الأخطار الاشعاعية لهذه المحطات ، هي الجرعة التي يتلقاها عدد قليل من الأفراد الذين يتعرضون للنفايات الغازية والسائلة الخارجة من هذه المحطات . وتتغير هذه الجرعة مع تصميم المحطة وظروف تشغيلها . وتدل الخبرة المكتسبة ، بانه تحت ظروف التشغيل العادية سواء للمحطات النووية أو غيرها من منشآت دورة الوقود أو منشآت التخلص من النفايات المشعة ، فان الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها العاملون بالمحطة والجمهور تكون أقل كثيراً من حدود الجرعات المسموح بها . والجرعة القصوى المسموح بها حالياً حسب تعريف اللجنة الدولية للحماية من الاشعاع (ICRP) هي ٥ ريم في السنة للعاملين في المناطق الاشعاعية ، تنخفض الى ٥ر٠ ريم في السنة للفرد من السكان العاديين ، وتشير التقديرات الى متوسط الجرعات التي قد تتلقاها مجموعات الأفراد الذين يتعرضون لنفايات برنامج متطور للقوى النووية ، مقام على أحسن الأسس التكنولوجية ، لن تزيد عن ٥ ملي ريم في السنة للفرد الواحد . وهذه التقديرات أكدتها خبرة التشغيل في عدد كبير من المحطات النووية ، وهي تمثل ٥٪ فقط من الجرعة التي يتعرض لها الفرد من المصادر الطبيعية (١٠٠ ملي ريم/ السنة) والتي تشتمل على التعرض للجرعات الداخلية والخارجية .

والجرعات التي يتلقاها الأفراد خلال العلاج الطبي بما في ذلك الكشف بالأشعة السينية والعلاج بالأشعة عامة. هي أعلى بكثير من جرعات البرنامج النووي السابق الاشارة اليها، اذ تقدر فيما بين ٢٠ الى ١٠٠ ملي ريم في السنة. وهناك مصادر أخرى متنوعة للجرعات الاشعاعية هي الناتجة عن التساقط الذري، واستخدام الأجهزة التليفزيونية، والأجهزة الصناعية والمنزلية، والسفر بالطيران. ومجموع الجرعة من هذه المصادر تقل كثيراً بالمقارنة مع المصادر الطبيعية. وتبين الأرقام المدونة في جدول ب-١، المقارنة بين التعرض النسبي للاشعاع من المصادر الطبيعية والمصادر المصنوعة، ويتضح منها أن مساهمة القوى النووية تقل عن ١٪.

(٢) تقييم المخاطر من الاشعاعات المؤينة:

تم التعرف على الآثار الضارة للاشعاعات المؤينة منذ تم اكتشاف واستخدام الأشعة السينية. وقد أجريت دراسات واسعة وشاملة على هذه الآثار تضمنت تجارب على الحيوانات والحالات التي تعرض فيها الانسان لجرعات متفاوتة من الاشعاعات وعلى الذين نجوا من الموت من القنابل الذرية التي أسقطت على هيروشيما وناجازاكي باليابان والأثر الرئيسي غير الوراثي للاشعاعات المؤينة هو السرطان. وعادة يتأخر ظهور الاصابة بالسرطان، بمعدلات أعلى من المعتاد، لسنوات أو ربما عشرات السنين بعد حدوث التعرض للاشعاع. والنوعان الرئيسيان للمخاطر المتصلة بالتعرض للاشعاعات المؤينة هما الموت بالسرطان والآثار الوراثية. ويتم التعبير عادة عن المخاطرة المطلقة بالنسبة لنوع محدد من السرطان بعدد حالات السرطان في السنة التي تظهر بين مليون من الأفراد يتعرضون لجرعة اشعاعية قدرها راد واحد أو ريم واحد. ومن هذه الفئة المجموعات التي تعرضت للاشعاع والناجين من هيروشيما وناجازاكي، وبعض حالات المرضى الذين تعرضوا لهذه الجرعة أثناء العلاج بالاشعاع أو أثناء

جدول ب ـ ١ : مقارنة بين التعرض الاشعاعي للانسان
من المصادر الطبيعية والمصنوعة

مصدر الاشعاع	متوسط معدل الجرعة على الجسم كله (ملي ريم في السنة)	النسبة المئوية من الجرعة الكلية
مصادر طبيعية:		
الأشعة الكونية	٤٥	٢٧
التربة	١٥	٩
مواد البناء (الطوب والخرسانة)	٤٥	٢٧
الماء ، الطعام ، الهواء	٢٥	١٦
مجموع المصادر الطبيعية	١٣٠	٧٩
مصادر مصنوعة		
طبية (الكشف بالأشعة السينية)	٢٠	١٢
التساقط الذري	٤	٤ر٢
السفر بالجو (رحلة من لندن الى نيويورك وعودة)	٤	٤ر٢
التليفزيون الملون (ثلاث ساعات يومياً)	٦	٦ر٣
قرب محطة نووية	١	٦ر٠
مجموع المصادر المصنوعة	٣٥	٢١
المجموع الكلي	١٦٥	١٠٠

العمل بالمجالات الاشعاعية ، ويبين الجدول رقم ب ـ ٢ النتائج التي حصلت عليها اللجنة الاستشارية للآثار البيولوجية للاشعاعات المؤينة (BEIR) بالنسبة لتقييم المخاطر المطلقة ، للأنواع المختلفة من السرطان . وبناء على هذه البيانات تم تقدير عدد الوفيات في العام ممن يتعرضون تعرضاً مستمراً للاشعاعات المؤينة بمعدل ١ ريم في السنة ، ويصل هذه العدد الى ١٥٠ في المليون بحد أعلى لا يزيد في الغالب عن ٢٠٠ في المليون .

جدول ب ـ ٢ : تقدير المخاطر المطلقة لسرطان الدم وغيره من أنواع السرطان عند الأعمار المختلفة (مقدرة بعدد الوفيات في المليون في السنة للتعرض من واحد ريم ، وتقدير المخاطرة محسوب على مدى الحياة بعد مرور الفترة الكامنة)

مجموعة السن	نوع السرطان	المخاطرة الكلية
٠ ـ ٩ سنوات	سرطان الدم	٢ر٠
٠ ـ ٩	جميع أنواع السرطان الأخرى	١ر٠
فوق ١٠	سرطان الدم	١ر٠
فوق ١٠	سرطان الثدي	١ر٥
فوق ١٠	سرطان الرئة	١ر٣
فوق ١٠	سرطان الامعاء والمعدة	١ر٠
فوق ١٠	سرطان العظام	٠ر٢
فوق ١٠	جميع أنواع السرطان الأخرى	١ر٠
المجموع لمجموعات السن من ٠ ـ ٩		٣
المجموع لمجموعات السن فوق ١٠		٦

ومخاطر الوفاة بالسرطان بين من يتعرضون تعرضاً مستمراً للجرعات الناتجة عن النفايات السائلة والغازية من المحطات النووية، وفي المراحل المختلفة لدورة الوقود النووي، تعادل حالة واحدة في المليون في السنة من وفيات السرطان حتى في حالة اعتبار أن الحد الأعلى هو ٢٠٠ وفاة بالسرطان لكل مليون ولكل ريم في السنة.

وهذه الحالة الاضافية الناتجة عن القوى النووية، ليست لها أي معنى احصائي في ضوء احصائيات الوفيات بالسرطان التلقائي والتي تصل من ١٠٠٠ الى ٢٠٠٠ حالة في السنة لكل مليون، وذلك عن تقديرات من مختلف أنحاء العالم. بالاضافة الى ذلك فان البيانات المتاحة عن الدراسات الواسعة والشاملة عن تقييم المخاطر، والتي أجريت للمقارنة بين اخطار محطات القوى النووية وأخطار المحطات التي تستخدم الفحم كوقود، وغيرها من الأنشطة الصناعية تبين أن التلوث الكيميائي والناشىء عن نواتج احتراق الفحم، بما في ذلك استنشاق البنزو (أ) بيرين، وهو من المواد المسببة للسرطان، يؤدي في التجمعات السكانية بالمدن الى مخاطر تقرب من مائة ضعف الأخطار الناجمة عن التعرض الاشعاعي من برنامج نووي كبير. وتبين التحاليل التي أجريت على أخطار العمل في دورة الوقود النووي، أن المخاطرة الكلية تعتبر صغيرة جداً اذا ما قورنت بالمخاطر المرتبطة بانتاج القوى من محطات الوقود التقليدي.

وفي ضوء ما سبق يمكن الاستنتاج بانه في ظروف التشغيل العادية للمحطات النووية وغيرها من المنشآت النووية. ليس من المحتمل أن تسبب الجرعات الضئيلة من الاشعاعات المؤينة أية أنواع جديدة من الأضرار، حيث أن الانسان كان دائماً وما زال يتعرض وبصفة مستمرة لجرعات كبيرة الى حد ما من الاشعاع الطبيعي.

ويعزى ذلك بالطبع الى اجراءات الوقاية من الاشعاعات المؤينة والتي

يؤخذ في الاعتبار عند تصميم المحطات النووية. هذا بالاضافة الى الدرجة العالية من مواصفات الأمان الهندسية المتبعة في هذه المحطات وكذلك الاختيار المناسب لمواقعها. وينعكس كل ذلك في الحدود الصارمة للحد الأقصى من جرعات التعرض الاشعاعي المسموح بها والتي أقرتها اللجنة الدولية للوقاية الاشعاعية(ICRP) وهي ٥ ريم في السنة.

(٣) أمان المحطات النووية:

يتضمن تصميم المحطات النووية عدداً كبيراً من خصائص الأمان وأنظمته والتي لا يكاد يكون لها نظير في أية منشآت صناعية أخرى، وينبع هذا الادراك بأهمية الأمان في تصميم وتشغيل وصيانة المحطات النووية الى حد كبير من الرغبة المهيمنة لتأمين العاملين بالمحطات النووية، وللسكان القاطنين في جوار المحطة وللبيئة عامة وذلك طوال عمر المحطة. وتحت هذه الظروف فان احتمال حادثة خطيرة يصبح ضئيلا للغاية، بل قد يقل كثيراً عن احتمال المخاطر التي تتعرض لها الجماهير من كثير من الأنشطة الصناعية الأخرى.

ان أهمية أنظمة الأمان ودرجة الوثوق في التصميات الحديثة للمحطات النووية قد أصبحت من الأمور المعترف بها والتي ينظر اليها بدرجة كبيرة من الثقة فان تصميم أوعية الأمان التي تتحمل الضغوط الداخلية العالية والتي تمنع تسرب المواد المشعة الى الجو المحيط في حالة الحوادث هو أحد ملامح الأمان الكثيرة والمعقدة في المحطات النووية، التي تشمل كذلك أنظمة ايقاف المفاعل في حالات الطوارئ أو التشغيل الخاطئ، وغير ذلك من الأنظمة مثل أنظمة تبريد قلب المفاعل، وامداده بالقدرةفي حالات الطوارئ. وهناك تحسن ملحوظ ومستمر في تصميات كل أنظمة المفاعلات والتي تشمل وفرة متزايدة وتنوعاً في استخدام الأنظمة الميكانيكية المختلفة ونظم القياس المتعددة التي تستخدم مكونات مختلفة للاقلال من احتالات الأخطاء الى الحد الأدنى.

ومنذ الأيام الأولى في تنمية القوى النووية ، كان موضوع احتمال حادثة كبرى في محطة القوى النووية من الموضوعات التي درست بمنتهى الاهتمام والجدية وقد أجريت العديد من الدراسات الواسعة والشاملة لما يسمى « الحادثة القصوى المعقولة » والتي تفترض أخطر النتائج التي تنشأ عن حادثة فقدان المبرد وانصهار قلب المفاعل . وتعرض الدراسة المعروفة باسم « تقرير راسموسين » (WASH-1400) والتي تناولت أمان المفاعلات ، ونشرتها لجنة الولايات المتحدة للتنظيمات النووية في أكتوبر ١٩٧٥ ، تقييماً شاملا لعواقب حوادث المفاعلات .

وفي هذا التقرير ، يقدر احتمال مثل هذه الحادثة (الحادثة القصوى) المعقولة بحوالي ٥ × ١٠^-٩ للمفاعل في السنة . ويعني هذا ان احتمال حدوث مثل هذه الحادثة خلال هذا القرن ، بافتراض أن هناك خمسة آلاف مفاعل سنة من تشغيل المحطات النووية ، لن يزيد عن بضعة أجزاء من الالف الواحد في المائة . ويعطي التقرير كذلك تحاليل تفصيلية عن العواقب المختلفة والمحتملة على الصحة وعلى الممتلكات وأخطر العواقب المشار اليها قد تؤدي الى وفاة ما بين ثلاثة الى أربعة الاف فرد خلال أسابيع قليلة ، كما تؤدي الى وفيات بالسرطان خلال ثلاثين سنة يقدر ببضعة عشرات الآلاف من الحالات وعدد مقارن من التأثيرات الوراثية الخطيرة في الأجيال المتعاقبة بالاضافة الى خسائر في الممتلكات تصل الى ١٤ بليون دولار وعلى رغم ان عواقب مثل هذه الحادثة الخطيرة هي عواقب كبيرة جداً الا انها قد لا تكون أكثر من عواقب الكوارث الطبيعية الكبرى . وعلى سبيل المقارنة واجهت الولايات المتحدة خلال هذا القرن اعصارين زادت خسائر كل منهما عن ألف قتيل ، وأعاصير أخرى تسببت في اضرار مادية تقدر ببلايين الدولارات وهناك غير ذلك من الكوارث الطبيعية المشابهة والتي وقعت في أجزاء أخرى كثيرة من المعمورة مثل الزلازل والبراكين والفياضانات .

وبالنظر الى العواقب الخطيرة الكامنة في الحادثة النووية القصوى فانه تبذل جهود مستمرة وكبيرة لتحسين أمان المفاعلات، وقد أظهرت الحادثة المشؤومة التي وقعت في محطة هاريسبرج النووية في بنسلفانيا بالولايات المتحدة الأمريكية ان عواقب الحادثة، رغم خطورتها قد أمكن التحكم فيها دون آثار ضارة على الانسان أو البيئة. ولا شك أن المعلومات الناجمة عن هذه الحادثة، وتحليل البيانات الخاصة بها، سوف تلقي الضوء على أبعاد متعددة للأمان النووي بما يقلل من اللايقينية في هذا المجال الهام والحيوي من مجالات تنمية القوى النووية.

(٤) الآثار البيئية للقوى النووية:

ان لتوليد الكهرباء سواء من المحطات النووية أو محطات الوقود العادي، آثاراً بيئية على الهواء والأرض والماء والمناخ الجوي، حتى مع الالتزام بكل معايير الاداء القياسية. ومن أهم أهداف التصميم للمحطات النووية، وغيرها من المنشآت النووية الاقلال الى الحد الأدنى للآثار المحتملة والمختلفة لانطلاق الاشعاع من هذه المحطات على البيئة المحيطة بها. وتشتمل المصادر المحتملة لاطلاق النفايات الى البيئة نتيجة تشغيل المحطات النووية، على وجه الخصوص على الغازات أو السوائل المشعة، والحرارة المنبعثة من عادم البخار والنفايات الكيميائية من أنظمة المحطة المختلفة. ويخضع اطلاق النفايات من المحطات النووية لرقابة صارمة سواء من ناحية معالجة الغازات أو السوائل المشعة أو الرصد المستمر لاشعاعتيها قبل اطلاقها الى البيئة المحيطة للتأكد من عدم تجاوز المستويات الاشعاعية المسموح بها.

وسوف نناقش فيما يلي المصادر المحتملة الرئيسية ذات الآثار البيئية، والتي تتضمن الآتي: ـ

أ ـ اطلاق النفايات المشعة:

ان تشغيل المحطات النووية ينطوي على انتاج مواد مشعة ، والمصدر الأساسي للاشعاعية هو عملية الانشطار النووي في الوقود. وتتكون نواتج الانشطار من نويات مشعة قصيرة العمر وطويلة العمر. وتبقى هذه النويات في ظروف التشغيل العادية في داخل أعمدة الوقود النووي ولا يتم اطلاقها من محطات القوى النووية. وتتوقف كمية نواتج الانشطار المشعة في عناصر وقود المفاعل على الزمن الكلي لتشعيع الوقود (احتراق الوقود) وعلى مستوى القدرة عند التشغيل وعلى الانحلال الاشعاعي. وعادة ما تطلق نسبة صغيرة جداً من نواتج الانشطار النووي ، وآثارها البيئية غير ذات قيمة.

والمصدر الثاني للاشعاعية يكمن في نواتج التآكل لمواد بناء المفاعل وللشوائب في مواد التبريد والتي تتحول الى مواد اشعاعية أثر امتصاصها للنيوترونات. وكمية المواد المشعة التي تنشأ عن هذه العمليات تعد صغيرة بالقياس الى نواتج الانشطار النووي وهي تتكون من النظائر الاشعاعية لبعض العناصر مثل الحديد والكوبالت والمنجنيز. هذا بالاضافة الى أن امتصاص البورون للنيوترونات ، وهو عنصر شائع الاستخدام للتحكم في عملية الانشطار النووي ، وكذلك امتصاص الديوتيريوم الموجود في مياه التبريد للنيوترونات يؤدي الى تكوين مادة التريتيوم ، وهو نظير طويل العمر للهيدروجين وعلى درجة عالية من السمية ، كما تتكون في المفاعلات المبردة بالغاز نظائر مشعة للكربون والأرجون. والخبرة الكبيرة المكتسبة من تشغيل المحطات النووية ، ومن تصميم وتشغيل أنظمة تداول المخلفات المشعة ، قد مكنت من تشغيل هذه المنشآت بدرجة عالية من الأمان. وتتكون المخلفات المشعة السائلة على الأغلب من تفاعل النيوترونات مع مياه التبريد ونواتج التآكل والاضافات الكيميائية والشوائب في المبرد الذي يسري داخل قلب المفاعل. وتظهر كميات ضئيلة من نواتج الانشطار النووي في مبرد المفاعل وفي خزانات حفظ الوقود المحترق

وأحياناً للاخفاق في بعض أغلفة عناصر الوقود . وتنتج بعض المصادر الأخرى للمخلفات السائلة عن بعض الأنظمة الاضافية للمفاعل مثل المياه الناتجة عن بالوعات الأرضيات والمعامل والغسالات وازالة تلوث المعدات .

وجميع أنواع المخلفات السائلة يتم تجميعها في خزانات خاصة ومعالجتها المعالجة التي تتلاءم مع تركيبها الكيميائي ونوع النويات المشعة فيها ومستوى اشعاعيتها ، وذلك بنظم معالجة النفايات عن طريق التبخير أو عمليات التبادل الأيوني .

ويتم طرد المخلفات السائلة بعد ازالة تلوثها وترشيحها ثم تخفيفها بمياه تبريد المكثفات وذلك بعد التأكد من أن اشعاعيتها تقل عن المستويات المسموح بها تبعاً لوصية اللجنة الدولية للحماية الاشعاعية . أما المخلفات الغازية فقد تحتوي على أنواع مختلفة من الغازات المشعة التي تتوقف على نوع المفاعل مثل الأرجون ٤١ ، والكريبتون ٨٥ ، والزينون ١٣٣ ، والايودين ١٢٩ ،والايودين ١٣١ ، والكربون ١٤ . وهذه المخلفات تمر خلال أنظمة معالجة المخلفات الغازية والتي تزيل النويات المشعة بطريق الامتصاص في مرشحات من الفحم .

وبالنسبة للغازات النادرة فيتم امرارها خلال خطوط تأخير أو حفظها في خزانات خاصة ولا يتم اطلاقها الى الجو الا بعد فترة زمنية قد تطول الى خمسين يوماً ، أو بعد تمريرها على فحم منشط عند درجات حرارة شديدة الانخفاض . وفي جميع الحالات تكون القيم الاشعاعية المسجلة للغازات التي يتم اطلاقها أقل كثيراً من المستويات المسموح بها من اللجنة الدولية للحماية الاشعاعية . والجرعات الاشعاعية في النطاق المجاور لمواقع المحطات النووية لا تزيد عادة عن ١ الى ٥ ملي ريم في السنة . والظروف السابق الاشارة اليها والتي تمثل آثاراً غير ملموسة على البيئة هي الظروف السائدة في أحوال التشغيل العادي للمحطات النووية . وقد تم تقييم العواقب المحتملة للحوادث الافتراضية التي يترتب عنها اطلاق المواد المشعة خارج نطاق موقع المحطة . وحدوث مثل هذه

الحوادث التي تؤدي الى آثار اشعاعية ملموسة خارج موقع المحطة تتطلب احداثاً غير عادية يرتبط حدوثها مع اخفاق الأنظمة المتعددة لحماية الأمان. ولكن ترتيبات الطوارئ معدة دائماً لمواجهة مثل هذه المواقف التي لا يحتمل حدوثها مثل أسوأ حادثة ممكنة للمفاعل. والاجراءات الأساسية الواجب اتخاذها في هذه الحالات تتضمن المسح الاشعاعي السريع، واعطاء التعليات والتحذيرات اللازمة، ووضع القيود على انتقال الجماهير وعلى استهلاك منتجات الألبان والمياه من المناطق الملوثة.

ب ـ صرف الناتج الحراري:

تستخدم المحطات النووية، مثلها في ذلك مثل المحطات التقليدية كميات كبيرة من مياه التبريد للمكثفات وفي المتوسط تستخدم المحطة النووية ٥٠ لتراً من الماء في الثانية لكل ميجاوات، ونتيجة لانتقال الحرارة من البخار المستنفذ الى مياه التبريد ترتفع درجة الحرارة بمقدار من ٥ الى ١٥ درجة مئوية تحت ظروف الحمل الكلي للمحطة.

ويؤدي تصريف الحرارة من مياه تبريد المكثفات الى مصدر التبريد (النهر أو البحيرة أو البحر) الى ارتفاع في درجة حرارة هذا المصدر تنتج عنه آثار بيئية بيولوجية مختلفة على الحياة المائية. ويؤخذ في الاعتبار عند أنظمة تبريد المحطة النووية، احتياجات كفاءة المحطة ومجتمع الأحياء المائية في مصدر مياه التبريد، حيث قد تؤثر درجات الحرارة غير الملائمة على تكاثر ونمو وحياة الأنواع البيولوجية المائية المختلفة لذلك لا بد من التحكم في صرف الناتج الحراري الى مصادر المياه ولا يجب أن تتعدى درجات الحرارة تلك التي تقررها السلطات المعينة المختصة حتى يمكن تفادي الأضرار التي قد تحقق بالحياة المائية في مصدر المياه المستخدم لتبريد المحطة.

ج ـ صرف النواتج الكيميائية:

تستخدم مواد كيميائية متعددة في الأجزاء المختلفة للمحطة النووية، والتي يتم صرفها من نظام تبريد المكثف، ونظام معالجة المخلفات ونظام اعادة معالجة المياه، ومن مصارف غسالات الملابس والمجاري الصحية. فعلى سبيل المثال قد يضاف الكلور لازالة تراكم المواد العضوية داخل المكثفات وقد تستخدم مركبات الفوسفور والزنك لكبح التآكل، وحامض الكبريتيك لضبط قاعدية مياه التبريد الدائرة، كما يمكن اعادة توليد نظام ازالة المعادن بصفة دورية باستخدام حامض الكبريتيك أو الفوسفات.

وتقييم الآثار المحتملة لهذه الكيميائيات على الصرف الصحي في قنوات الصرف، يجب أن يتم بعناية شديدة في المراحل المتقدمة من التخطيط. وتركيز مصادر صرف النواتج الكيميائية قد يؤدي الى آثار ضارة أو سامة على الحياة المائية. وعلى ذلك يجب وضع حدود تركيز هذه المواد بما يتفق مع معايير نقاوة المياه المتعارف عليها.

هـ ـ تقبل الرأي العام:

من أهم القضايا التي تؤثر على التنمية المستقبلية للقوى النووية هي القلق المتزايد من المخاطر المتصلة باستخدام القوى النووية لانتاج الطاقة. ومقاومة الرأي العام لا تقوم على التفهم العميق للأسس العلمية والتكنولوجية، ولا على حقائق احتياجاتنا للطاقة والبدائل المتاحة لمقابلة هذه الاحتياجات المتزايدة والملحة، بل تستغل الاثارة العاطفية على نطاق واسع لتوجيه الرأي العام لمقاومة هذا المصدر الحيوي والضروري للطاقة. وقد تطورت معارضة القوى النووية الى الحد الذي أصبحت معه تؤثر على القرارات السياسية والحكومية، بل انها نجحت في النمسا في ايقاف محطة نووية كبيرة، تم الانتهاء من انشائها وأصبحت معدة للتشغيل. وبعد أن أنفق عليها استثمارات تصل الى بليون من

الدولارات. وتهاجم مشروعات القوى النووية في الولايات المتحدة، وسويسرا والسويد وغيرها من البلاد، وتنظم مظاهرات معادية لها، ويدعى الى استفتاءات عامة لاتخاذ قرارات بشأنها.

ولا شك أن قبول الرأي العام ضروري لبقاء أية صناعة وتنميتها. وفي ضوء ذلك فانه قد أصبح من اللازم الآن، وأكثر من أي وقت مضى، ايصال الحقائق الى الجماهير. وهناك حاجة لأن تقوم المجتمعات النووية، والحكومات المعنية، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، باتخاذ الاجراءات والعمل على توضيح كثير من الأسئلة التي تثار في مناقشات الرأي العام، واعداد الردود الواضحة والمحددة على التساؤلات بشأن مخاطر الاشعاع وآثار المحطات النووية على البيئة، ومشاكل التخلص من النفايات المشعة. وكيف تتم معالجة هذه المسائل في المحطات النووية وفي غيرها من المنشآت النووية.

ان المخاطر والمنافع المتصلة باستخدام الطاقة الذرية وتكاليف استخدامها والفوائد المنتظر تحقيقها من استخدامها لسد الاحتياجات المقبلة من الطاقة، يجب أن تناقش بكل الوضوح حتى يمكن للجماهير أن تشارك في مسؤولية اتخاذ القرار وفي تحمل المسؤولية الناجمة عنه.

وفي هذا الصدد لا بد من تأسيس نظام للاعلام وللاستعلامات، ويجب تنظيم المناقشات العامة بين الخبراء على أعلى المستويات وقطاعات الشعب المختلفة وذلك حتى يمكن اثارة ومناقشة وتوضيح المسائل والمشاكل المختلفة.

ومن المأمول أن تتم مشاركة قطاعات الرأي العام المختلفة على نطاق واسع في مناقشة هذا الموضوع ذي الصيغة التكنولوجية البالغة التعقيد، فهذه المشاركة الواسعة سوف تكون لها آثار غاية في الأهمية على المجتمع وعلى مستقبل المدنية الحديثة.

ملحق [ج]

الاستخدامات البديلة للطاقة النووية

مقدمة :

في خلال الخمسة والعشرين سنة الأخيرة ، تم استخدام وتطوير الطاقة النووية أساساً لانتاج الكهرباء ، وأحرز في ذلك تقدم ملموس في انشاء وتشغيل عدد كبير من المحطات النووية تسهم بنصيب طيب في سد احتياجات الطاقة في كثير من الدول المتقدمة صناعياً والدول النامية في أنحاء العالم المختلفة. ومع ذلك فانه يوجد عدد من التطبيقات الأخرى الممكنة للقوى النووية في مجالات استخدام الطاقة عند درجات الحرارة المنخفضة أو في تسيير البواخر والغواصات. ولم تتحقق بعد توقعات الستينات من الاستخدام الواسع للطاقة عند درجات الحرارة المنخفضة من المحطات النووية وحيدة الغرض (حرارة فقط) أو مزدوجة الغرض (حرارة وكهرباء)، في مجالات انتاج الحرارة أو انتاج الماء العذب بطرق ازالة الملوحة. وعلى الرغم من دراسات الجدوى الاقتصادية والفنية الشاملة التي أجريت لبعض المشروعات المحددة لازالة الملوحة أو لانتاج الحرارة ، الا انه لم يتم تنفيذ سوى عدد قليل من هذه المشروعات. ويعني هذا الملحق بعرض لما تم في مجالات استخدام الطاقة النووية في البدائل السابق الاشارة اليها.

١ - انتاج الماء العذب باستخدام الطاقة النووية في ازالة الملوحة:

يؤدي النقص في موارد المياه العذبة من المصادر الطبيعية الى قيام

صعوبات متزايدة لمواجهة احتياجات المناطق الجافة والمدن في مناطق عديدة من العالم. وازالة ملوحة مياه البحر هي البديل الوحيد الذي ثبتت جدواه الفنية والذي يغني عن نقل المياه العذبة من مصادرها الطبيعية البعيدة. وتصل سعة محطات ازالة الملوحة في الوقت الحالي، والتي تستخدم الوقود التقليدي، وخاصة البترول، الى حوالي ١ر٢ مليون متر مكعب يومياً، وسوف تتضاعف هذه السعة بالانتهاء من مشروع ازالة الملوحة الذي تجري اقامته في المملكة العربية السعودية.

ومنذ الستينات، بدأ التفكير في استخدام الطاقة النووية، كبديل جذاب يمكن أن يحل محل البترول في ازالة الملوحة. الا أن انخفاض سعر البترول في ذلك الوقت جعل من الصعب تحقيق المنافسة الاقتصادية. وأظهرت الدراسات الشاملة التي أجريت في هذا الصدد لعدد من المشروعات، ان تكلفة المياه المنتجة من المحطات النووية شديدة الارتفاع بالنسبة للتطبيقات الزراعية وان كان من الممكن قبولها لبعض الأغراض الخاصة في المواقع النائية، وللاستخدامات الصناعية والمدنية. وبناء على ذلك لم يتم تنفيذ محطات نووية لازالة الملوحة فيما عدا محطة بدأت التشغيل عام ١٩٧٣ في شيفيهنكو بالاتحاد السوفييتي، وتستخدم هذه المحطة البخار من محطة مزدوجة الغرض تقوم على مفاعل سريع متوالد، وتنتج ١٢٠٫٠٠٠ متر مكعب من الماء المزال ملوحته يومياً، كما تنتج ١٥٠ ميجاوات من القدرة الكهربائية.

الا انه بالنسبة للمستويات الحالية لأسعار البترول، والتي وصلت الى حوالي ستة أضعاف ما كانت عليه عام ١٩٦٠، فقد تصبح ازالة الملوحة بالطرق النووية أكثر قدرة على المنافسة الاقتصادية. وعند التطبيق في محطات ازالة الملوحة، يتم استخلاص الطاقة الحرارية الناتجة في المفاعل، عند درجة حرارة منخفضة مناسبة وضغط منخفض بما يتفق مع احتياجات تشغيل محطة ازالة الملوحة بطريقة التقطير. وعلى الرغم من أن استخدام المفاعلات النووية يصلح

لأعمال ازالة الملوحة من محطات وحيدة الغرض تنتج الحرارة فقط ، الا أن معظم المشروعات التي تمت دراستها كانت من نوع المحطات المزدوجة الغرض والتي تنتج الكهرباء وتستخدم حرارة العادم لانتاج الماء العذب عن طريق التقطير في محطة ازالة ملوحة ذات مراحل متعددة من المبخرات الوميضية. وبالاضافة الى المزايا الاقتصادية لمثل هذه المحطات مزدوجة الغرض مقارنة بالمحطات وحيدة الغرض فانه يمكن فيها تغيير نسبة انتاج الماء الى انتاج الكهرباء ، بحيث تتغير سعة انتاج الماء بما يتفق مع الاحتياجات ومع الاستفادة بالطاقة المتبقية لانتاج الكهرباء ونظراً لأن البخار المستخدم لازالة الملوحة ، في المحطة المزدوجة الغرض ، يتم استنزافه من نقطة مختارة في التربينة البخارية ، ويمكن تغيير نسبة المياه الى القدرة عن طريق اختيار النقطة المناسبة لاستنزاف البخار والتي يتحدد معها ضغط ودرجة حرارة البخار. وتتغير نسبة الخفض في القدرة الكهربائية ، الناتجة عن تشغيل المحطة للأغراض المزدوجة ، من ١٠ الى ٥٠٪ حسب احتياجات انتاج المياه وعلى سبيل المثال نورد هنا مشروع المحطة المزدوجة الغرض التي اقترحت خلال عام ١٩٦٤ لاقامتها في مصر ، بقدرة ١٥٠ ميجاوات كهربائي وملحق بها محطة لازالة ملوحة مياه البحر بسعة ٢٠٠٠٠ متر مكعب يومياً ، وقد كان الخفض في القدرة نتيجة لتشغيل محطة ازالة الملوحة بقدرتها القصوى ، يتراوح من ١٠ الى ١٢ ميجاوات كهربائي.

ومن مشاكل استخدام محطات وحيدة الغرض لانتاج المياه العذبة هو السعة القصوى لمحطات ازالة الملوحة المتاحة انتاجها حالياً ، والتي تصل الى ٤٠٠٠٠ متر مكعب يومياً. وتتطلب هذه السعة مفاعلاً صغيراً بقدرة حوالي ١٣٠ ميجاوات حراري. ولا بد من امكان تطوير نقل هذا المفاعل من الناحيتين الفنية والاقتصادية وبحيث يحتوي على ملامح تصميمية تتلائم مع درجات الحرارة والضغوط المنخفضة اللازمة لاحتياجات محطات ازالة الملوحة.

وتواجه محاولة تقييم تكلفة انتاج المياه من المحطات النووية عديداً من الصعوبات ففي المحطات المزدوجة الغرض يصبح توزيع التكلفة بين منتجين أو أكثر عملية تدخل فيها عوامل وفروض اختيارية ، هذا من ناحية ، ومن ناحية أخرى فانه بالنظر الى الفترة الحالية من التضخم في أسعار المواد الخام والمنتجات الصناعية ، فسرعان ما يصبح أي تقدير لتكلفة المياه المنتجة غير واقعي. ويقدر سعر البخار من محطة نووية مزدوجة الغرض من نوع الماء المضغوط بحوالي ١٫٧١ دولار لكل ١٠^٦ كيلو جول ، وسعر المياه العذبة المناظر بحوالي ٠٫٣٨ دولار للمتر المكعب. ولمحطة وحيدة الغرض بقدرة ٣١٣ ميجاوات حراري تصبح التكلفة أكثر ارتفاعاً ، وتقدر بحوالي ٢٫٨٤ دولار لكل ١٠^٦ كيلو جول للبخار وبحوالي ٠٫٦٣ دولار للمتر المكعب من المياه العذبة.

ولقد تم اجراء عدد من دراسات ازالة الملوحة خلال الستينات اشتملت على ما يسمى بالمجمعات الزراعية الصناعية الكبيرة ، والتي تتضمن وحدات نووية كبيرة لانتاج الكهرباء للمنشآت الصناعية وكذلك انتاج المياه العذبة للتنمية الزراعية ، ورغم دراسات الجدوى الشاملة ودراسات التقييم الاقتصادي التي أجريت لبعض مشروعات هذه المجمعات في المكسيك والهند ومصر والشرق الأوسط ، الا أن الاهتمام بازالة الملوحة بالطاقة النووية قد تضاءل الى حد كبير خلال السنوات الأخيرة الماضية.

٢ - الانتاج النووي للطاقة الحرارية :

ان امكانية تطبيقات القوى النووية في انتاج الطاقة الحرارية باستخدام الحرارة التي تطردها محطات القوى النووية عند درجات الحرارة المناسبة للاستخدام في التدفئة ، أو باستخدام مفاعلات صغيرة مبسطة منخفضة الحرارة لانتاج الطاقة الحرارية فقط ، قد تم أخذها في الاعتبار منذ السنوات الأولى

من تطوير المفاعلات النووية ومحطات القوى النووية. وقد كان ذلك بقصد زيادة الاستفادة من الطاقة المنتجة ولتحسين كفاءة تحويل الوقود، خاصة وان احتمالات السوق، بالنسبة للطاقة الحرارية ذات الحرارة المنخفضة الناتجة عن المفاعلات النووية تبدو مناسبة، حيث تصل نسبة الطاقة المستخدمة في هذه الأغراض الى الطاقة الكلية في معظم الدول الصناعية من ٣٠ الى ٦٠٪.

ورغم الدراسات العديدة التي أجريت في كثير من البلدان حول مشروعات تستهدف هذا النوع من التطبيقات للطاقة النووية، الا أن الاستفادة العلمية منها لم تتحقق الا في مشروع واحد للتدفئة في السويد. وقد أثبتت تجربة هذا المشروع السويدي نجاح تطبيقات الطاقة النووية في التدفئة. وكان ذلك باستخدام مفاعل الماء الثقيل «اجستا» الذي بدأ تشغيله عام ١٩٦٤. وخلال السنوات العشر التالية استمر هذا المفاعل في مد شبكة الكهرباء بقدرة ١٠ ميجاوات وبما يعادل ٧٠ ميجاوات من الحرارة الى ضاحية «فارستا» في استوكهولم باعتمادية ذات سجل جيد وحتى الآن لم تتكرر هذه التجربة في أي مكان آخر في العالم. وتستخدم السويد أنظمة تدفئة الأحياء على نطاق واسع في حوالي ٥٠ مدينة باستخدام الماء الساخن عند درجة حرارة تغذية قدرها ١٢٠°م تنخفض في العودة الى ٦٠°م في أبرد أيام الشتاء بالنسبة للدائرة الأولية، والتي تغذيها غلايات تستخدم البترول أو تستخدم الحرارة المطرودة عن محطات القوى التقليدية. وبالنظر الى هذا الحجم الكبير من الطلب على أنظمة تدفئة الأحياء، وفي ضوء الزيادة المستمرة في أسعار البترول خلال السنوات الأخيرة، فان الطاقة النووية يمكن أن تسهم في خفض استهلاك وقود البترول، وان تؤدي الى تأمين الاحتياجات المستقبلية من موارد الطاقة بتوفير بديل للبترول كمصدر للتدفئة في حالة نقص الموارد البترولية، وهو ما أصبح متوقعاً بين وقت لآخر.

لهذا السبب بدأت دراسة عدد من مشروعات الأنظمة النووية لتدفئة

الأحياء في السويد. منها على سبيل المثال مشروع تجري دراسته لجنوب السويد يستهدف توفير الحمل الحراري الأساسي لأربعة مدن، وذلك باضافة وحدة ثالثة لمحطة « بارسباك » للقوى النووية، وهي محطة نووية من وحدتين، وهناك مشروعات أخرى يتم دراستها لمنطقة استوكهولم الكبرى. الا أن الصعوبات تكمن في اختيار الأماكن الملائمة لاقامة المحطات النووية، والتي قد تقتضي نقل الحرارة عبر مسافات طويلة وهو أمر غير اقتصادي، ويتم كذلك دراسة مشروع لمدينة « جوتنبرج » والتي تقع على بعد ٦٠ كيلومتراً من محطة نووية ذات أربعة وحدات كبيرة بعضها يعمل حالياً وبعضها ما زال تحت الانشاء. وتجري أعمال البحوث والتطوير في مركز « ستودزفيك » للبحوث لدراسة واختيار أنواع جديدة من الأنابيب المقارنة للتآكل لاستخدامها في نقل الحرارة من المحطة النووية الى مراكز الأحمال البعيدة. ويهدف انتاج هذا النوع من الأنابيب الى الاستغناء عن احاطة الأنابيب بالأغلفة الخرسانية التي تحميها من المياه الأرضية، وذلك خفضاً للتكاليف. ويتم اختيار أنابيب من الخرسانة سابقة الأجهاد وكذلك أنواع متعددة من الأنابيب المقواة بالألياف الزجاجية، وأسفرت الدراسات التي تمت حتى الآن عن نتائج مشجعة.

ويتم كذلك دراسة استخدام أنابيب صغيرة من البلاستيك لتوزيع الحرارة من المحطات الثانوية الى المنازل. وتجرى كذلك الدراسات على الانتاج النووي للحرارة لتدفئة الأحياء السكنية بهدف تنمية محطات قوى نووية وحيدة الغرض لانتاج الطاقة الحرارية فقط.

ولهذا الغرض يتعين استخدام مفاعلات صغيرة قليلة التكاليف، ذات تصميم مبسط، وخصائص تسمح بوضعها قريباً من المناطق المأهولة بالسكان. وتجري في السويد دراسات لتصميم مفاعل لانتاج البخار منخفض الحرارة والضغط، ذي تصميم مبسط، وخصائص ذاتية للأمان، تسمح باقامته بالقرب من الأماكن السكنية. وقد تم اعداد التصميات الأولية وتحاليل الأمان لمفاعل

بقدرة ٢٠٠ ميجاوات حراري لتدفئة الأحياء لمدينة يتراوح تعدادها من ٥٠ الى ٧٠ الف نسمة ، وذلك كمشروع مشترك بين السويد وفنلندا . ويلزم لتنمية هذا النوع من المفاعلات الصغيرة وحيدة الغرض لانتاج الطاقة الحرارية على صورة بخار أو ماء ساخن ، تصميات مبسطة وجديدة للمفاعلات النووية ، أو تعديل بعض مفاعلات تسيير السفن لتلائم الاستخدام على سطح الأرض ، وهناك عدد من المفاهيم لهذه التصميات تتراوح بين ١٠٠ الى ٤٠٠ ميجاوات حراري ، وتوجد في الوقت الحالي ، أكثر الاهتمامات لتطبيقات المفاعلات الوحيدة الغرض في الاتحاد السوفييتي وفرنسا وفنلندا وايطاليا والسويد .

وقد وجد أن استخدام المفاعلات المزدوجة الغرض لتدفئة المناطق السكنية مجدياً واقتصادياً في عديد من المدن الكبيرة في أوروبا . وعلى الرغم من ذلك لم يتم وضع خطط محددة لتنفيذ مثل هذه المشروعات في المستقبل القريب ، وقد يكون من بين أسباب التأخير في تنفيذ مثل هذه المشروعات ، مشاكل اختيار المواقع المناسبة لاقامتها ، واقتصاديات نقل الحرارة عبر المسافات الطويلة ، بالاضافة الى حساسية الرأي العام بالنسبة للقوى النووية . واستخدام القوى النووية في تطبيقات انتاج الطاقة الحرارية ، سوف يصبح على المدى البعيد بديلا لموارد الطاقة يؤدي الى الاقتصاد في استهلاك الوقود من البترول المتناقص وغيره من أنواع الوقود التقليدي .

ان أحد التطبيقات الأخرى الممكنة لاستخدام الطاقة الحرارية ، بالاضافة الى تدفئة الاحياء السكنية ، هو استخدام البخار في المنشآت الصناعية التي تحتاج الى كميات كبيرة منه ، مثل صناعات الورق والنسيج والعجائن الورقية .

٣ ـ الدفع النووي للسفن :

لقد استخدمت محركات دفع تعمل بالطاقة النووية في السفن للمرة الأولى

منذ ٢٥ عاماً للأغراض العسكرية، وذلك عندما دشنت الولايات المتحدة الأمريكية أول غواصة ذرية عام ١٩٥٤، وهي الغواصة « نوتيلس ».

ولعل الكثير من الناس لا يعلمون بوجود الاستخدام المكثف للمفاعلات لدفع السفن وكاسحات الثلج، والغواصات. ومن المعروف ان هناك ما يقرب من ٢٥٠ سفينة نووية، بما في ذلك الغواصات، تعمل حالياً، صنعتها الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والمملكة المتحدة وفرنسا. الا انه توجد حالياً ست سفن تجارية فقط تستخدم المفاعلات النووية ويستخدم الباقي لسفن الأساطيل الحربية. وتعمل اربعة فقط من تلك السفن في الوقت الحالي للأغراض المدنية بينما توقف عمل السفينتين الباقيتين. والأربع سفن التي ما زالت تعمل حالياً هي سفينة « اوتوهان » التي بنتها المانيا الغربية، وثلاث من كاسحات الجليد تم بناؤها في الاتحاد السوفييتي هي « لينين » و« ارتيكا » و« سيبر » أما السفينة « سافانا » فهي السفينة التجارية النووية الوحيدة التي بنتها الولايات المتحدة، فقد أوقفت خدمتها التجارية منذ عام ١٩٧٠، بعد ثمان سنوات من التشغيل الناجح. وهناك بالاضافة الى ذلك السفينة اليابانية « موتسو » والتي تجري لها حالياً بعض التعديلات في دروعها الواقية، وينتظر أن يعاد تشغيلها خلال بضع سنوات.

ان الاحتمالات المستقبلية بالنسبة للاستخدام الواسع للدفع النووي للسفن غير مؤكدة. وتجري دراسات في الوقت الحالي لوضع أسس الجدوى الفنية والمنافسة الاقتصادية وذلك حتى يمكن تقديم تصميم لأجهزة الدفع النووي لتسيير السفن، لمالكي السفن التجارية كبديل منافس لنظم الدفع التي تستخدم الوقود التقليدي.

ومن المشاكل التي يجب أخذها في الاعتبار في هذا المجال، هو احتياج صناعة السفن الى عدد كبير من الأنواع والأحجام المختلفة من السفن، تتسع لمستويات متباعدة من مدى القدرة. واعداد تصميم وحيد للمحطة النووية لكل

نوع من أنواع السفن ، بما يتضمنه من تكاليف التطوير والتراخيص اللازمة للمحطات النووية ، سوف ينطوي على تكاليف تقوى عليها صناعة السفن. وتجوي ادارة البحرية الأمريكية حالياً دراسة لمشروع مفاعل دفع نووي نمطي واقتصادي ، يمكن استخدامه على أوسع مدى ممكن في أنواع السفن المختلفة.

وقد أتمت المانيا عام ١٩٧٦ تصميم سفينة شحن مدفوعة نووياً ، الا أن الجهود المبذولة في هذا المجال حتى الآن ما زالت محدودة للغاية ، واحتمالات استخدامها على نطاق كبير في المستقبل غير مؤكدة في الوقت الحاضر.

ويقوم تصميم السفن التجارية المدفوعة نووياً على الأسس الراسخة لصناعة السفن ، وعلى التكنولوجيا المجربة لمفاعلات الماء الخفيف ، الا أن مشاكل التطوير المستقبلي لهذه السفن تنشأ عن نوعية البيئة البحرية بالنسبة للمفاعل ، وعن مقتضيات الأمان للسفينة ، وعن التكامل بين السفينة والمفاعل. هذا بالاضافة الى عامل هام آخر الا وهو أن اقتصاديات المفاعلات في تسيير السفن لم تصل بعد الى درجة الجاذبية التي تحفز صانعي السفن ومالكيها للدخول في تعهدات كبيرة لاستخدام سفن تجارية نووية كبيرة بدل السفن التقليدية.

قائمة المراجع

١ - "POWER REACTORS IN MEMBER STATES", 1978 Edition, IAEA, STI/PUB/423/4 (1978).

٢ - "OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR POWER STATIONS IN MEMBER STATES",
a. IAEA, STI/PUB/458 (1976).
b. IAEA, STI/PUB/480 (1977).

٣ - "OPERATING EXPERIENCE WITH NUCLEAR POWER STATIONS IN MEMBER STATES". Performance Analysis Report.
a. IAEA, STI/PUB/472 (1977).
b. IAEA, STI/PUB/481 (1978).

٤ - "DIRECTORY OF NUCLEAR REACTORS".
a. Volume IV: Power Reactors, IAEA, STI/PUB/53 (1962).
b. Volume VII: Power Reactors, IAEA, STI/PUB/174 (1967).
c. Volume IX: Power Rteactors, IAEA, STI/PUB/296 (1971).
d. Volume X: Power and Research Reactors, IAEA, STI/PUB/397 (1976).

٥ - "NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE". Proceedings of the International Conference, Salzburg, Austria, May 1977, Volume 1, "Nuclear Power Prospects and Plans".
IAEA, STI/PUB/465 (1977).

٦ - "INTERNATIONAL SURVEY COURSE ON TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NUCLEAR POWER".
IAEA, Technical Report-114 (1969).

٧ - "POWER REACTORS OF INTEREST TO DEVELOPING COUNTRIES". IAEA, Technical Report-140 (1971).

٨ - "NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE".
Volumes 2 & 3, The Nuclear Fuel Cycle, Parts I & II. IAEA, STI/PUB/465 (1977).

٩ - "UTILISATION OF THORIUM IN POWER REACTORS". IAEA, STI/DOC/10/52 (1966).

١٠ - "USE OF PLUTONIUM FOR POWER PRODUCTION".
Report of Nuclear Energy Policy Group, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Mass., U.S.A. (1977).

١١ - "SMALL AND MEDIUM POWER REACTORS".
IAEA Symposium, Oslo, October, 1970.
IAEA, STI/PUB/267 (1971).

١٢ - R. Krymm , "A NEW LOOK AT NUCLEAR POWER COSTS".
IAEA, Bulletin 18, No. 2 (1976).

١٣ - R. Krymm et al., "FUTURE TRENDS IN NUCLEAR POWER".
IAEA, Bulletin 19, No. 4, August (1977).

١٤ - "ECONOMIC EVALUATION OF BIDS FOR NUCLEAR POWER PLANTS". A Guidebook, IAEA, STI/DOC/10/175 (1976).

١٥ - G. Woite, "CAPITAL INVESTMENT COSTS OF NUCLEAR POWER PLANTS". IAEA – Bulletin 20, No. 1, February (1978).

١٦ - "ECONOMIC INTEGRATION OF NUCLEAR POWER STATIONS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS".
IAEA/ECE Symposium, STI/PUB/266 (1970).

١٧ - "NUCLEAR ENERGY COSTS AND ECONOMIC DEVELOPMENT". IAEA Symposium, STI/PUB/239 (1969).

١٨ - "CAPITAL INVESTMENT COSTS OF NUCLEAR POWER PLANTS".
G. Woite, IAEA Report, April (1979).

١٩ - B.J. Csik, "COST TRENDS IN NUCLEAR POWER".
Training Course on Nuclear Power Project Construction and Operation Management, Argonne, U.S.A., Feb. – May (1978).

٢٠ - J.A. Lane, "LATEST TRENDS IN THE ECONOMICS OF NUCLEAR POWER".
Third International Summer College on Physics and Contemporary Needs,

Nathiagali, Pakistan, June (1978).
٢١ - "INTERNATIONAL COMPARISON OF NUCLEAR POWER COSTS".
IAEA Symposium, London, STI/PUB/164 (1967).
٢٢ - "MARKET SURVEY FOR NUCLEAR POWER IN DEVELOPING COUNTRIES".
a. General Report, IAEA (1973).
b. 1974 – Edition, STI/PUB/395 (1974).
٢٣ - "STEPS TO NUCLEAR POWER". A Guidebook,
IAEA, STI/DOC/10/164 (1975).
٢٤ - "BID EVALUATION AND IMPLEMENTATION OF NUCLEAR POWER PROJECTS".
IAEA, Technical Report-151 (1972).
٢٥ - J.A. Lane et al., "NUCLEAR POWER IN DEVELOPING COUNTRIES".
IAEA, CN-36/500, May (1977).
٢٦ - "NUCLEAR POWER AND ITS FUEL CYCLE".
Volume 6, Nuclear Power in Developing Countries.
IAEA, STI/PUB/465 (1978).
٢٧ - K.E.Effat et al., "PROBLEMS OF IMPLEMENTATION OF THE FIRST NUCLEAR POWER PLANT IN DEVELOPING COUNTRIES WITH PARTICULAR REFERENCE TO EGYPT".
Proceedings of the Conference on Transfer of Nuclear Technology, Persipolis, Iran (1977).
٢٨ - K.E.Effat et al., "PROJECTED ROLE OF NUCLEAR POWER IN EGYPT AND PROBLEMS ENCOUNTERED IN IMPLEMENTING THE FIRST NUCLEAR POWER PLANT".
IAEA, CN-36/574 (1977).
٢٩ - K.E. Effat., "SIZE SELECTION CONSIDERATIONS FOR NUCLEAR POWER IN DEVELOPING COUNTRIES".
Symposium, Small and Medium Size Power Reactors.
IAEA, PL-297/25 (1969).
٣٠ - A. Zaazoo and K.E.Effat., "INTRODUCTION OF NUCLEAR POWER GENERATION IN DEVELOPING COUNTRIES".
Conference o nPeaceful Uses of Atomic Energy in Africa. IAEA (1970).

٣١- "TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR WEAPONS".
Review Conference, 1975.
Iaea — Bulletin 17, No. 2, April (1975).

٣٢- "NON-PROLIFERATION AND INTERNATIONAL SAFEGUARDS".Public Information Booklet, IAEA (1978).

٣٣- "A SHORT HISTORY OF NON-PROLIFERATION".
Public Information Booklet, IAEA, February (1976).

٣٤- "REGIONAL NUCLEAR FUEL CYCLE CENTRES".
IAEA, STI/PUB/445 (1977).

٣٥- "PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR MATERIAL AND FACILITIES". IAEA — Bulletin 20, No. 3, June (1978).

٣٦- "THE PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR MATERIAL".
IAEA, INFCIRC/225 (1975).

٣٧- "ENVIRONMENTAL ASPECTS OF NUCLEAR POWER STATIONS".Symposium, IAEA, STI/PUB/261 (1970).

٣٨- R. Salvatori, "THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF NUCLEAR POWER PLANTS IN THE UNITED STATES".
Fifth Foratom Congress,Florence, Italy, October (1973).

٣٩- K.G. Vohra, "A PERSPECTIVE ON THE RADIATION PROTECTION PROBLEM AND RISK ANALYSIS FOR THE NUCLEAR ERA". IAEA-Bulletin 20, No. 5, October (1978).

IAEA — Bulletin 20, No. 5, October (1978).

٤٠- "NUCLEAR ENERGY AND THE ENVIRONMENT".
IAEA, INFCIRC/139/Add. 1 (1970).

٤١- "RADIOACTIVE WASTES".
IAEA, Booklet, June (1978).

٤٢- "NUCLEAR ENERGY FOR WATER DESALINATION".
IAEA, STI/DOC/10/51 (1966).

٤٣- "DESALINATION OF WATER USING CONVENTIONAL AND NUCLEAR ENERGY".
IAEA, STI/DOC/1024 (1964).

٤٤- "GUIDE TO COSTING OF WATER FROM NUCLEAR DESALINATION PLANTS".
IAEA, STI/DOC/10/151 (1973).

٤٥ - N.Raisic., "DESALINATION OF SEA WATER USING NUCLEAR HEAT".
IAEA – Bulletin 19, No. 1, February (1977).

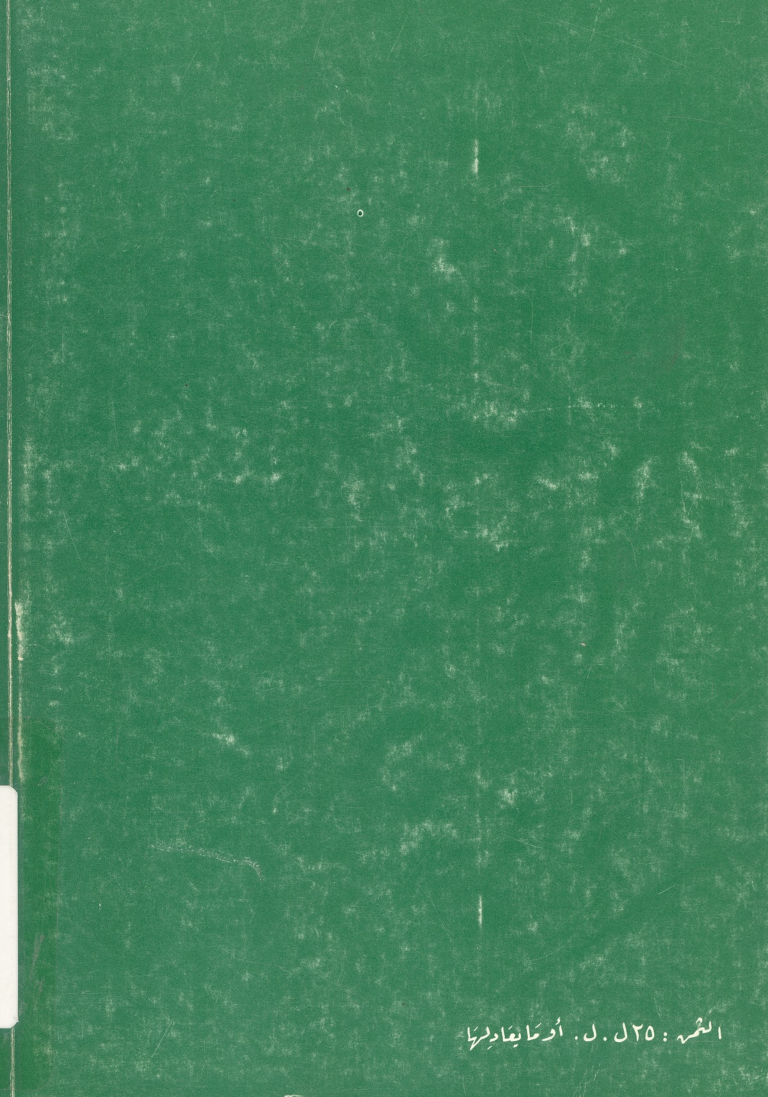
٤٦ - B. Agricola and M. Cumo "LOW TEMPERATURE HEAT UTILISATION STUDIES PERFORMED IN ITALY".
ENC-79, "Nuclear Power Option ofr the World".
ANS Transactions, Vol. 31, Page 650 (1979).

٤٧ - R. Tarjanne., "NUCLEAR APPLICATION FOR LOW TEMPERATURE HEAT". ANS Transactions, Vol. 31, Page 653 (1979).

٤٨ - E.E. El-Hinnawi., "REVIEW OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF NUCLEAR ENERGY".
IAEA – Bulletin, 20, No. 2, April (1978).

٤٩ - Rowland F.Pocock, "NUCLEAR SHIP PROPULSION". Ian Allan Ltd.,
Surrey, England (1970).

٥٠ - W. Jager and H.Lettnin, "TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF NUCLEAR POWERED CONTAINER-SHIP".
Nuclear Power, Option for the World, ENC 79 Conference. ANS Transactions, Vol. 31 (1979).


الثمن : ٢٥ ل . ل . أو ما يعادلها